養液栽培技術講習會專刊

沈再發・許淼淼　主編

中華民國七十九年三月六日至七日於鳳山熱帶園藝試驗分所舉行

TARI　LIB.
C003971

3

行政院農業委員會　補助
台灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所　編印

中華民國七十九年九月三十日

5.2
11
3
990

養液栽培技術講習會專刊

第 三 輯

中華民國七十九年三月六日至七日於鳳山熱帶園藝試驗分所舉行

沈 再 發
許 淼 淼 主編

行 政 院 農 業 委 員 會 補助
台灣省農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所 編印

中華民國七十九年九月三十日

七十九年度養液栽培技術講習會紀念

目　　錄

序……………………………………………………………………杜所長金池………I

致歡迎詞………………………………………………………沈分所長再發………II

談水耕養液之組成…………………………………………鈴木芳夫著／沈再發譯…… 1

植物生長與養液要素之關係…………………………………沈再發……… 9

培養液之理論與實際…………………………………………王銀波、吳正宗………14

養液栽培蔬菜之品質及其栽培技術之改善…………………篠原溫著／林榮貴譯…27

岩綿栽培………………………………………………………沈再發………33

岩綿或 NFT？……………………………………………………許仁宏譯…47

NFT 栽培簡介……………………………………………………許仁宏譯…53

家庭式水耕栽培………………………………………………許淼淼、蔡俊雄、楊小慈、林新發、吳登琳………61

滴灌系統及其應用……………………………………………黃東瑞………66

作物要素缺乏之快速診斷……………………………………李國權、林慧玲………74

養液栽培作物病害及其防治…………………………………林益昇………82

綜合討論………………………………………………………侯鳳舞、鄭義雄、蕭吉雄、沈再發、劉政道………86

講師通訊錄………………………………………………………………91

學員通訊錄………………………………………………………………92

序

養液栽培是一種新興農業科技，綜合多項的尖端農業技術，對於培育養液栽培的核心人員，需施以密集課程，以達技術轉移。本所鳳山熱帶園藝試驗分所承行政院農業委員會國家級設施園藝計畫之經費補助，於民國七十七年首次辦理「第一次養液栽培技術講習會」以來，今年已是第三次舉辦，主要目的是提供有關最新養液栽培技術及重要資訊，並加強技術轉移，以達到本土化、實用化之栽培目標。

從前談起「養液栽培」，對大多數人來說，是一個頗為新鮮的名詞，除少數研究單位從事有關之基礎研究外，大家對它相當陌生，然現在本省一般的超級市場、生鮮市場，已到處可見利用「養液栽培」技術所生產之高品質、安全衛生的清潔蔬菜，如水耕洋香瓜、番茄、小白菜、萵苣、蕹菜及其它多種葉菜類等蔬菜，並已深受消費者的歡迎及喜愛。而這些新興產品的栽培者，絕大多數是曾參加「養液栽培技術講習會」的核心農民，由此可證實我們前面兩次所舉辦的講習會，已收到技術轉移及實用化的成果。

目前本省養液栽培面積已達22公頃，其中尚不包括生產豌豆苗的13公頃部分，而養液栽培在本省仍屬開發階段，有關養液栽培模式之建立、作物種類之選擇、培養液調製與管理、規格化資材之供應、自動化控制系統之建立及病蟲害防治等問題，仍有多項困難尚待克服解決。緣於此我們再次舉辦「第三次養液栽培技術講習會」，邀請國內外學有專精之專家、學者擔任講師，講授最新之研究成果及有關養液栽培之新知，並將講習內容編輯成專刊第三輯，以提供各界人士及實際生產者之參考，並冀裨益於本省養液栽培事業更進一步發揚光大。

台灣省農業試驗所所長 **杜金池** 謹誌

七十九年六月三十日

致歡迎詞

各位貴賓、各位女士、先生：大家好！

歡迎大家遠從各地來參加此次的講習會，在此代表本分所及主辦單位向各位致上感謝之意。此次養液栽培技術講習會是第三次舉辦，每次舉辦的內容均不同，且不斷有新的技術加入，如第一次講習會著重栽培方法的介紹，第二次講習會著重在栽培技術與經營管理的探討，本次講習會則重視品質管理的問題。今天除了講解新技術外，專程由日本邀請篠原先生主講品質方面的課題，因為目前水耕蔬菜有人批評一些品質問題，而篠原先生正是從事這方面的研究工作，在第二節課時，各位可聽到他最新的報告。由於新的栽培技術不斷的突破，岩綿栽培已在世界各地普遍的達實用化，這部份由本人來介紹。

1986年以前本省尚未有經濟栽培的農家，經這幾年來大家的共同努力已達實用化，且最近二、三年內的栽培面積已約達十五公頃，其中有經營不錯的，但也有失敗的。因此，大家可藉此次講習除課程之外，相互交換意見討論，提出問題來檢討改進。近來，大家的技術進步了，我們研究人員更不能怠慢，如此才能相互激勵，加速技術層面的提升。研究工作必須靠多方面的配合，由我們研究者提出的成果報告數據，再加上實際的田間管理技術相輔相成，才能達到實用化、本土化的目的，使其更具經濟性。

本次講習會由行政院農業委員會國家級設施園藝計畫項下補助經費，農試所鳳山熱帶園藝試驗分所主辦，並邀請日籍專家及對養液栽培學有專精之研究人員、學者擔任講師，各縣市政府及農會推荐農戶踴躍參加，本人謹表謝忱，希望此一園藝科技新知能帶給國人更高的生活品質。

鳳山熱帶園藝試驗分所 分所長　沈再發

中華民國七十九年三月六日

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　1～8, 1990

談水耕養液之組成

鈴木芳夫* 著
沈 再 發** 譯

我們知道植物體的80～90%是水，其餘部分由各種元素構成。這些元素中，有16種元素是高等植物生長發育所必須的，它們是碳（C）、氫（H）、氧（O）、氮（N）、磷（P）、鉀（K）、鈣（Ca）、鎂（Mg）、硫（S）、鐵（Fe）、錳（Mn）、硼（B）、鋅（Zn）、銅（Cu）、鉬（Mo）、氯（Cl）。前10種元素需要較多，稱為大量元素。後 6 種元素稱為微量元素。關於這些元素，在植物體內的作用及植物體的吸收的機制等可參考其他專業書籍，在此不多敍述。謹就營養液栽培—水耕（Soilless Culture，Hydroponics）的養液組成作一敍述：

一、次量元素

在歐美使用的蔬菜培養液中大量元素濃度範圍是： NO_3-N 5—15 me／1， NH_4-N 0—3 me／1， PO_4-P 2—4 me／1，K 2—8 me／1，Ca 6—10 me／1，Mg 1—4 me／1，SO_4—S1—4 me／1。在日本廣泛使用的園藝試驗場均衡培養液處方是： NO_3-N 16me／1， NH_4-N $1\frac{1}{3}$ me／1，PO_4-P 4 me／1, K 8 me／1，Ca 8 me／1，Mg 4 me／1， SO_4-S 4me／1。礫耕中廣泛利用這種培養液，並且在很多蔬菜的生育上都得到相當好的成果。

對該培養液的組成及濃度的決定過程，山崎肯哉氏做了以下的說明：欲以蔬菜的養分吸收量作為施肥的一個標準的話，以目前搜集所有蔬菜的吸收量，包括生育期別在內，雖然因種類不同其吸收量多少與成分間之比例略有所差異，但以含量最多的 K_2O 作為10的話，其他要素分別為N 6，P_2O_5 2，CaO8，MgO1.5，S 0.5。並且以不同生育期的植體分析結果，此成分間之比例也並無多大的變化；僅在幼苗期 N 略多，與 K_2O 比例相近而已。以此吸收成分比所做的組成培養液在容許的濃度範圍內，如其濃度降低時其成分比的組成也以同樣下降，欲以追肥回復其原有的濃度也簡單。因此，以此方式所訂的組成易成為實用的培養液。

以吸收比與上述類似的胡瓜之吸收量為例，介紹其均衡培養液組成濃度的決定方式和計算方法如表 1 。一株胡瓜的要素吸收量是：N 6 公克，P_2O_5 2.5公克，K_2O 10公克，CaO 6 公克，MgO 2 公克，SO_4 1 公克。首先把氧化物含量換算成元素含量（例如換算成 $P_2O_5 \rightarrow P$，$K_2O \rightarrow K$ ）。換算係數表示在第一欄，再把它換算成 me（毫克當量）。參考適宜濃度範圍，以上述的 me 量為標準，鉀之濃度為 8me／1條件時，計算其它成分濃度是多少。所得到的這些值就是與胡瓜成分量符合的均衡培養液之組成濃度。進一步作成實用性培養液時，還必須根據使用的肥料鹽進行修正。

園藝試驗所的均衡培養液，是根據蔬菜的肥料吸收比例大致相同的構想而決定的。但實際上不同作物的吸收量及其比例並非完全一定的。特別是番茄，以此培養液在高溫時易缺鈣而嚴重發生尻腐病。因此，神奈川園藝試驗場，注意到對鈣的吸收有拮抗作用的 N、K 的問題，提出減少

* 日本筑波大學教授
** 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所分所長

表一 均衡培養液組成濃度之決定方法與其計算

	N	P_2O_5 →P	KO →K	CaO →Ca	MgO →Mg	SO_4 →S	計
換算係數		PO×0.437 P×2.295	KO×0.830 K×1.205	CaO×0.715 Ca×1.399	MgO×0.603 Mg×1.658	SO_4×0.333 S×3.000	
◉ 吸收成份量 g	6	2.5 →1.1	10 →8.3	6 →4.3	2 →1.2	1 →0.33	
（胡瓜每株）me	÷14mg ≒430	÷10.3mg ≒103	÷39mg ≒213	÷20mg ≒215	÷12mg ≒100	÷16mg ≒20	
○ 適宜濃度範圍 me／l	NO_3—N5—15—25 NH_4—NO—1—3	2—4—12	2—8—15	*（23） 3—8—36	1-4-8	*（23） 1—4—40	14—44—109
以鉀為 8me／l 時其他要素之值 me／l（元素×87／213）	16	3.9	8	8	3.8	0.8	均衡組成濃度
肥料計算 me／l ①$MgSO_4$•$7H_2O$	—	—	—	—	4	4	123×4（me／l）=49.2mg／l
肥料計算 me／l ②Ca（NO_3）$_2$•$4H_2O$	NO_3—N8	—	—	8	—	—	118×8（me／l）=944mg／l
肥料計算 me／l ③KNO_3	NO_3—N8	—	8	—	—	—	101×8（me／l）=808mg／l
肥料計算 me／l ④$NH_4H_2PO_4$	NH_4—N1.33	4	—	—	—	—	38×4（me／l）=152mg／l
單位換算 me／l	NO_3—N16 NH_4—N1.33 } 17.33	4	8	8	4	4	⊕24>48me／l ○24>2.396me／l（ppm）
單位換算 ppm	14mg／l×17.33=242	10.3mg／l×4=41.2	39mg／l×8=312	20mg／l×8=160	12mg／l×4=48	16mg／l×4=64	—
單位換算 mM／l	NO_3—N16me÷1=16 NO_4—N1.33÷1=.33	4me÷3=1.33	8me÷1=8	8me÷2=4	4me÷2=2	4me÷2=2	⊕19.33 ○19.33 >38.6mM／L

◉電導度（m mho）與 me／l 之關係：自來水（含 CaO.6，MgO.4，KO.1，pH 為6.8）含在內48me／l 時 EC 為2.22m mho，其½的24me／l 時為1.38m mho，1.5倍的72me／l 時為4.16m mho。

○滲透壓（氣壓）與 m M 之關係：依 Van't Hoff 定律 1mM 培養液為0.0224×（273＋X℃）／273。38.6mM／l 培養液於17℃時為38.6×0.0224×（273＋17）／273=0.8氣壓。

＊低溶解度的 $CaSO_4$•$2H_2O$ 於23me／l 以上時就可見沈澱發生。

氮和鉀，增加鈣含量的番茄專用培養液，以 N 10，P 4，K 6，Ca 10，Mg 4，S 4 me／1 推廣到農家。

之後山崎氏與本人在東京教育大學農學部，測定了蔬菜別的吸收濃度（n／w），發表了不同蔬菜培養液組成濃度。吸收濃度之測定方法如下：

水耕裝置的總容水量為 a；園試均衡培養液的施用量為 m，其濃度為 y 時：

$$y=\frac{m}{a}$$

在一定時期內肥料量 n 被吸收，同時耗水量為 w 時，該培養液的濃度測定為 Y_1時：

$$y_1=\frac{m-n}{a-w}$$

補充水 w 至 a，其濃度為 Y_2時：

$$y_2=\frac{m-n+wy_0}{a}\text{（}y_0\text{為自來水濃度）}$$

以 y 和 y_1，y_2 可得

$$n=ay-(a-w)y_1=ay-ay_2+wy_0$$

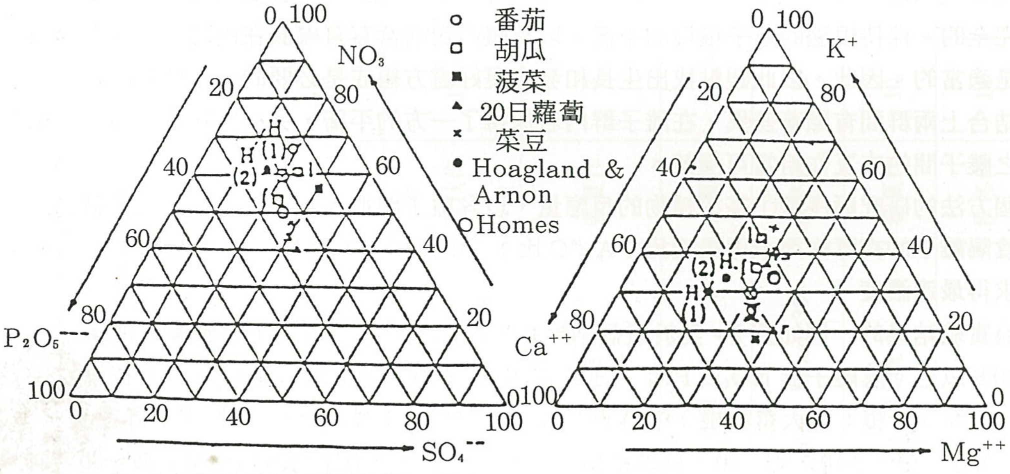
因此，測定 y_1 時

$$n/w=\frac{1}{w}[ay-(a-w)y_1]=\frac{a}{w}(y-y_1)+y_1=y_1-\frac{a}{w}(y_1-y) \quad \cdots\cdots(1)$$

測定 y_2 時

$$n/w=\frac{1}{w}(ay-ay_2+wy0)=\frac{a}{w}(y-y_2)+y_0 \quad \cdots\cdots(2)$$

此 w 是包括葉面蒸發量＋水面蒸發量＋生長的吸水量。n／w 並非真正的根吸收濃度，可以說是對培養液管理之濃度維持上的意義，並表示作物的特性。n／w，y，y_1 等單位為表示培養液濃度時，是以園藝試均衡培養液作為基準的培養液濃度比，五要素以 me／l 表示之。而且培養液以電導度計來測定，電導度（Simens 或 mho）與濃度之關係於事先行測定以供對照當是很為便利的。



圖二　以培養液中陰陽離子濃度的系統變量法所訂之蔬菜適宜組成

經由10年的研究結果，於表二整理出了各種蔬菜的最適 n／w，其結果可看出：

①無論那種作物的那個生育階段都是 w 多。生育良好時的 NO_3－N 和 K＋Ca，P 和 Mg 的 n／w 大致相等，因其當量均衡地被吸收。

②依作物別之特性此五要素之 n／w 之 NO_3—N 濃度差，與其當量的 K＋Ca 濃度間可看出其拮抗性的存在。NO_3—N 的 n／w 蕪菁⒁>甜瓜⒀>茄子⑽>胡瓜⑼>甜椒⑻>番茄⑺>萵苣⑺。K 和 Ca 的 n／w 上，Ca>K 的有甜瓜（K：Ca＝6：7），胡瓜（4：5）。Ca<K 的有番茄（K：Ca＝4：3）、甜椒（6：3）、萵苣（4：2）、茄子（7：3）、蕪菁（10：4）。

③培養液組成濃度受溶氧、生育期、氣溫、液溫、日照的影響，既使相同作物也受品種、栽培方式、栽培管理等的強烈影響。五要素的 n／w 相互變動，嚴重時，造成落果，軟球，抑制根部的膨大或引起頂腐病，裂果等生理障害。因此，表 2 的 n／w 值為避免這些障害發生的標準值。

④n／w 發生變化的原因與作物本身特性，受作物的耐鹽性，及鹽類吸收選擇性有所影響，同時根的吸收速度也受同化之運轉有所規律。

⑤對於水耕實用化，最重要是維持 n／w 的標準值，n／w 之維持是要有相同 n／w 之培養液之組成濃度也即是 n／w／y＝N／W＝1 的話，培養液之組成濃度、pH 之變化就很少。或許也有點變化的話依表二的標準值 NO_3－N 和 K＋Ca 的 n／w 當量比相同，以 KNO_3 和 $Ca(NO_3)_2$ 量的多少加減來調整培養液的話，其 pH 之變化很少。EC 雖因 Ca 多而略有下降，但也變化不大。

⑥n／w 的變化比標準值變化較大時，當然培養液的 pH 也發生變化。NO_3－N 和 K 之 n／w 變大，而 Ca 變小時，其培養液 pH 升高。相反時 pH 則降低。這個現象在培養液濃度越低時顯著，濃度高時則變化少。還有也受用水 pH 的影響。

⑦培養液的溶氧維持在40％以上時，對 w 和 n／w 無所影響，但溶氧在20％以下時，w 之減少比 n 為多，使 n／w 比標準值升高，植物體的生育因而受抑制，乾物重也隨而增加。

以 n／w 所建立之培養液管理，經神奈川園藝試驗場與其他不同之培養液行比較，結果仍以 n／w 得到了最好的結果。因此受到了實際栽培農家的應用。

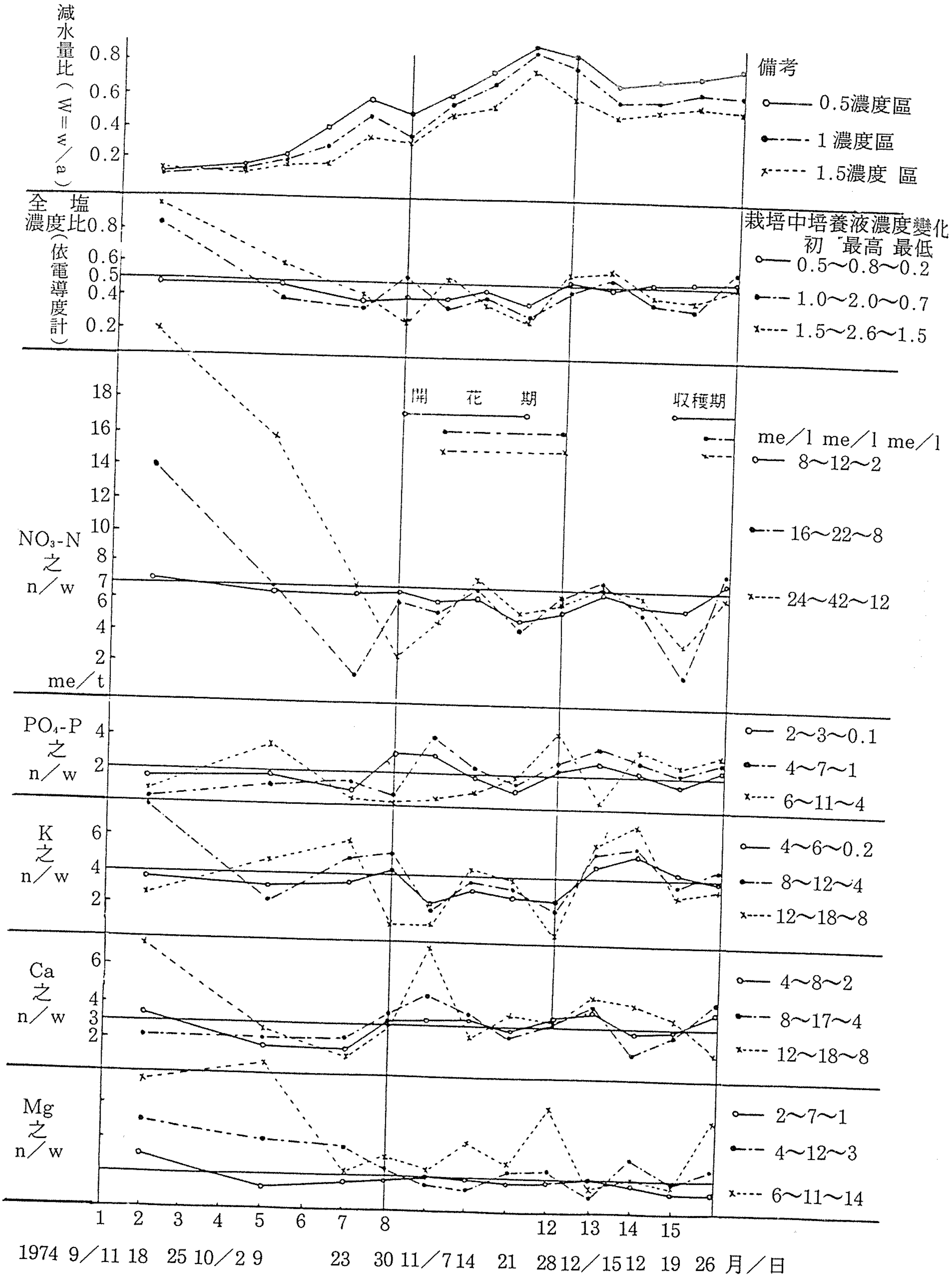
名城大學農學部的高野氏用 Homes 的系統變量法檢討大量元素的平衡方法，提倡自培養液之組成之方向使其平衡。也就是大量元素因機能不同而可分為 NO_3^-、PO_4^{3-}、SO_4^{2-} 的 3 個陰離子和 K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 的 3 個陽離子二大類。作成一個平衡營養液，一直是只考慮 N、P、K 的比例是不完全的。保持根圈的離子環境的平衡，以及體內包括含有有機酸在內的陰離子與陽離子的平衡才是適當的。因此，以此觀點找出生長和發育良好處方組成是必要的。由於陰陽離子之吸收和化學結合上兩群間有顯著差異，在離子群內若保持了一方的平衡，另一方在群內可以自由變化，群內之離子間的交互作用當可清楚。

這個方法的研究順序是①基於植物的反應量，以各離子間群內的交互作用，求得最適比例；②根據陰陽離子的交互作用求得最適比（A／C 比）；③基於這些結果，用 3 種水平以上的濃度試驗，求得最適濃度。

作為實驗結果的一例如圖 2。對於這個結果高野氏作下列的說明：通常無論那種離子在離子群內占20％以上。陰離子群 NO_3^-、PO_4^{3-}、SO_4^{2-} 的比在葉中為60：20：20（％），在果實中為50：25：25（％）；根（肥大莖和根）中為40：30：30（％）為最適比例。陽離子群在春秋季 K^+：Ca^{2+}：Mg^{2+} 的比是40：30：30，夏季是30：40：30。在葉菜中比例為40～50：25～30：20～25，鉀的比例予以提高。另外若提高 Ca 的比例，NO_3^-的比例也能提高。NH_4^+在陽離子中含 6～7％

表二　數種蔬菜的適宜 n／w

作物品種	期作	N me／l	P me／l	K me／l	Ca me／l	Mg me／l	培養液濃度 營養生長期	培養液濃度 肥大成熟期	培養液管理
洋香瓜（溫室用）	春夏作	13	4	6	7	3	1	1	溶氧40%以上，但後熟期在20%以下。露地品種之濃度以0.7—0.8
胡瓜（四葉）	夏秋作	13	3	6	7	4	1	0.7	肥大期0.8以上蔓易徒長，但冬季低溫期時不要緊。
番茄（FTVR-3）	春夏作	7	2	4	3	2	1	1	濃度高時缺Ca，易產生頂腐病果。冬作以1.2—1.4為宜。
甜椒（下總）	春夏作	9	2.5	6	3	1.5	1	1	濃度低時分枝變差
萵苣 Great Lakes 366	秋冬作	6	1.5	4	2	1	1	1	濃度高時易產生軟球
茄子（長交2號）	春夏作	10	3	7	3	2	1	1	濃度低時分枝變差
蕪菁（金町）	秋冬作	14	2	10	4	2	0.5	1	營養生長期濃度高時，根的肥大變差



圖一 培養液濃度と與減水量比（W＝w／a）及其吸收成分濃度（n／w）之關係

表三　依系統變量法所得之培養液組成

試藥	me	mg／l
KNO_3	6	606
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	7	825
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	4.4	511
$NH_4H_2PO_4$	4（NH_4^+ 1.33）	153
計		2,126

離子		NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	A/C	總濃度（me／l）
	me	13	4	4.4	6	7	4.4	1.33	1.143	40.13
	%	60.7	18.7	20.6	32.0	37.4	23.5	7.1	—	—
參考	H-A me	14	3	4	6	8	4	1	1.105	40
	園試 me	16	4	4	8	8	4	1.33	1.125	45.33
	Homes me	13	7.18	7.18	6.4	8.5	6.4	1.44	1.203	50.1

表四　培養液之微量要素化合物之濃度

要素	適宜濃度 ⓐppm	化合物 名稱	化合物 分子式	分子量	含有率 ⓑ（%）	化合物濃度 ⓐ／ⓑ（mg／l）	溶解度（g／l）	價格（圓／kg）
Fe	3	鉗形鐵	Fe-EDTA	421	12.5	24	421	1,000
		或硫酸亞鐵	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	270	20.0	15	260	220
B	0.5	硼酸	H_3BO_3	62	18.0	3	100	250
		或硼砂	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	381	11.6	4.5	25	250
Mn	0.5	氯化錳	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	198	28.0	1.8	735	700
		或硫酸錳	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	223	23.5	2	629	1,400
Zn	0.05	硫酸鋅	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	288	23.0	0.22	550	220
Cu	0.02	硫酸銅	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	250	25.5	0.05	220	360
Mo	0.01	鉬酸鈉	Na_2MoO_4	206	47.0	0.02		2,400
		或鉬酸銨	$(NH_4)_2MoO_4$	196	49.0	0.02		2,300
Cl	1.75	KNO_3中之不純物，或用水中已含有。35ppm 內為限，350ppm 以上則有害						

的話，則 NO_3^-：PO_4^{-3}：SO_4^{2-}＝60：20：20，K^+：Ca^{2+}：Mg^{2+}：NH_4^+＝28：38：27：7 為最適比。參考這個比例所訂的蔬菜培養液如表三。以此系統的變量法所訂培養液的組成 NO_3^- 的比例變低，PO_4^{3-}、SO_4^{2-}、Mg^{2+}等的比例則予提高。

二、微量元素

通常利用 Arnon 實驗的決定值（參照表四）。養液栽培的時候，除 Fe、B、Mn 以外都是極微量的，用水中的含量已經足夠了。Fe 的追肥是每月一次，B 和 Mn 是三個月一次就足夠了。但是在生長旺時，在更短的時間內追加是必要的。據筆者經驗，生育越好，微量元素的吸收量也愈多。

引用文獻

1.山崎肯哉　1966　礫耕の經過と進路　農業技術　21（3）：1。

2.山崎肯哉　1973　培養液の化學性　農耕と園藝別册　野菜の養液栽培　pp. 22-26。

3.山崎肯哉、鈴木芳夫、篠原　溫　1976　そ菜の養液栽培（水耕）に關する研究　特に培養液管理とみかはの吸收濃度（n／w）に就て　東京教育大學農學紀要　No.23　pp.53-100。

4.佐佐木皓二　1982　養液栽培の現狀と問題點〔3〕—水耕栽培における培養液處方と2・3の管理技術　農業および園藝　57（5）：677-682。

5.高野泰吉　1981　養液栽培の現狀と問題點〔2〕水耕栽培養液の組成について農業および園藝　56（7）：919-924。

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　9～13，1990

植物生長與養液要素之關係

沈　再　發*

一、前　　言

高等植物的必需元素16種。其中 H、C、O主要來自大氣或水。其他13種元素 N、K、Ca、Mg、P、S、Fe、Mn、B、Zn、Cu、Mo、Cl，來自肥料吸收，是為養液組成的對象。廣義的無土栽培，包括水耕、噴霧耕和固體介質耕（砂耕、礫耕、岩綿耕等）。多年來許多研究者發表很多的培養液組成，Hewitt（1966）列出160種配方。其全離子濃度、離子間比率、氮的形態、鹽類的組成等，也有所不同。自 Hoagland 配方發表後，很多再修正的養液配方出現。日本園藝試驗場的均衡培養液也廣泛應用。養液栽培農戶有自行向化學原料行購買肥料自行調配的，也有購買已調配完成的肥料或養液行栽培的。無論自行調配或購買現成養液，都有需瞭解要素與生長之關係及肥料鹽種類、特性等。

二、要素與生長

有關各元素在植物體內的功能並非完全絕對的了解，但植物對其生長的反應，可用來判斷植物的缺乏或過剩症、栽培作物所需的要素量、和何種化學鹽來調配培養液。

氮（N）

氮是兩種最大量元素之一，生長中的植物消耗量大。由於植體內易移動，生長中的嫩葉可由老葉獲得氮素。缺乏症狀時全株可出現，其中以成熟葉最先出現症狀。

氮的供給型態可分成 NO_3-N 及 NH_4-N 兩種；大部分的培養液只含 NO_3-N，因 NH_4-N 對植物有害。NO_3-N 的來源有硝酸鉀或硝酸鈣，少量的氮可由硝酸供給並藉以調整養液中的 pH。

NO_3-N 由根部吸收後，通常使培養液的 pH 提高（呈鹼性），同時又因根部HCO_3^-被放出進入培養液中，故培養液 pH 值更上升。因此，必需定期的加酸來調整。於日照充足時，作物之生長快而氮吸收愈多，所需加酸調整 pH 的次數也愈多。

鉀（K）

在高光度下吸收量多，鉀由根吸收後，隨著蒸散流在體內移動，故蒸散量大時，鉀吸收也多。缺乏時症狀首先出現於下位葉，過多的鉀則會阻礙鎂及鈣的吸收。

鉀肥通常施用硝酸鉀（同時供給氮）或磷酸鉀（同時供給磷）。硫酸鉀的價格最低，但因會提高培養液中硫的含量，只能偶而施用。

鈣（Ca）：

鈣由根吸收後，隨著蒸散流在植體內移動，水經由氣孔蒸散後，鈣蓄積於葉上而不易再移動。因此生長旺盛的部位出現缺乏症狀時，老葉中却含有大量的鈣。番茄尻腐病（blossom end rot），萵苣的頂燒病（tip burn）都是由於缺鈣所引起。由於鈣的轉運與環境習習相關，因此培養液中即使含有豐富的鈣，也常會有缺乏症狀出現。

---

* 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所分所長

硝酸鈣溶解性高、價格低，且同時供給氮素，為最好的鈣供給源。如果氮以硝酸鈣為主要來源，由於植物體需要的氮多，所以培養液中鈣的含量常有過剩的現象。過多的鈣會阻礙鉀和鎂的吸收，而造成養液全鹽濃度間之不平衡。

鎂（Mg）：

鎂在植體內和鉀相類似易於移動。缺乏時症狀首先發生於下位葉。鎂的主要供給源為硫酸鎂。施用過多的硫酸鎂會阻礙鉀或鈣的吸收，且也可能造成硫的超量累積。

磷（P）：

磷在植體內也易於移動，缺乏時全株都會出現症狀。磷在水耕栽培中比其他大量元素需要量少，但土壤中由於磷常為土壤固定，需要大量施肥。磷通常與鉀一起施用，如磷酸－鉀（KH_2PO_4），其價格雖高，但溶解度大。另外磷亦可由調整 pH 的磷酸中獲得。

硫（S）：

植物對硫的需求量比其他要素為少。大部份以硫酸鎂施用。因其吸收量少，施用過多時常造成養液中硫的過量累積。雖然硫對植物體沒有直接的傷害，但會干擾實際施肥上養液中全鹽的濃度。

鐵（Fe）：

鐵為微量元素的一種，當培養液呈微鹼性（pH 7）時，其溶解度下降，而無法被吸收利用。由於經一段栽培後培養液之 pH 易提高，所以作物常有缺鐵發生，番茄的水耕最易發生此現象。過量的錳也會阻礙鐵的吸收。

要解決缺鐵的問題必需準確的控制 pH 值。鐵的供給源以硫酸亞鐵最便宜，但易受培養液 pH 影響。另外螯形鐵（chelated form of iron）對 pH 之適應範圍較廣，目前為最廣泛[illegible]的。於水質良好的地區可以用 EDTA-Fe，如果水中含有較多石灰質者，則以 DTPA 或 EDD[illegible]-Fe 較好。

錳（Mn）：

錳的吸收利用亦受養液中的 pH 控制。錳的有效率隨著 pH 值的升高而下降。然而不同於鐵者；為除非相當高的石灰質時否則不使用價格昂貴的螯形錳。平常則施用價格低，溶解度高的硫酸錳。氯化錳也可使用。因其用量甚微量，其所含之氯或硫量並不致發生影響。

硼（B）：

植物對硼需求量少，且水源中常含有硼，所以水耕栽培時不易缺硼。當番茄結果量多時可能缺硼，其症狀為在果皮表面產生同心圓的龜裂（concentric cracks）。番茄及胡瓜如發生硼毒害時則由下部葉開始，若水源中硼不足，可加入硼酸補充。

鋅（Zn）：

鋅主要供給源為硫酸鋅或氯化鋅，若水源中含石灰質則以螯形物供給。尤須注意培養液貯放在鍍鋅的水槽中時易發生鋅毒害。

銅（Cu）：

銅主要供給源為硫酸銅（$CuSO_4$）或氯化銅（$CuCl_2$），水源中含石灰質時以螯狀物補充。培養液中銅濃度不當時，成熟的番茄果實易發生裂果，尤其在氣溫高時更易發生。

鉬（Mo）：

水源中鉬不足時，以鉬酸鈉或鉬酸銨補充之。

三、養液濃度

培養液的設計因作物種類、栽培地區而異；培養液的配方很多，表一中為常用於無土栽培之標準液濃度配方。

表一 常用於無土栽培之標準液濃度（ppm）

要素	美國 Hoagland and Arnon	英國 Cooper	荷蘭 Modified Stelner	美國 Wilcox 1	美國 Wilcox 2	加拿大 Resh	日本 園試場
N	210	200	171	132	162	175	132
P	31	60	48	58	58	65	42
K	234	300	304	200	284	400	314
Ca	160	170	180	136	136	197	162
Mg	48	50	48	47	47	44	48

不同的培養液配方有相同點存在；例如：磷、鎂及大部分的微量元素使用濃度相似。由Hoagland 和 Arnon 首先發展的番茄培養液處方曾被應用多年的基本無機營養研究。日本堀裕和山崎以胡瓜的肥料吸收量，發展為日本園藝試驗場均衡養液處方。Cooper 配方發展為英國養液膜法（NFT）番茄的供給理想配方。Wilcox—1 為由 lettuce 及番茄小苗發展而來，番茄進入結果階段，培養液中增加氮及鉀含量，即為 Wilcox—2 配方。而且鉀增加量比氮為多。Resh 於蔬菜之水耕專書內收集多種養液組成濃度。Steiner 以陰陽離子總濃度及比例修正，稱之為“通用配方”，實際係配製養液的通用方法。

優良的培養液配方決定於作物的種類與品種、栽培的型式及環境如光、溫度等的影響。許多的研究者仍繼續發展更能適合作物的處方，而作物本身也具有相當廣泛的忍受濃度範圍。Steiner 指出植物具有選擇吸收元素的能力，在濃度範圍內，不會吸收不必需的元素。

NFT 似乎可忍受培養液範圍較大，此證明流動式的系統比靜止式系統對濃度適應之彈性較大。然而要素間的平衡界限比實際的單一濃度要求更要重視。例如 Cooper 推荐用錳 2ppm，此濃度下如鐵濃度少於12 ppm 的話，可能造成許多作物超過錳的忍受範圍。若 Resh 配方用鐵 2ppm 同時以 Cooper 的錳 2ppm 濃度時，將會發生錳毒害或鐵缺乏。其他有關相互作用上鈣、鎂、鉀間的關係亦非常重要，如果其中任何一個含量過高而造成不平衡，亦可能發生缺肥現象。定期檢查並依配方補充所需量，或更新培養液皆可避免此不平衡的發生。

在循環系統作物栽培經一段時間後，由於培養液成分的改變，可能發生元素不足、過多、或元素間不平衡的現象。此有賴定期檢查而依其處方濃度補充使其維持所適合範圍內。如果養液中之元素濃度累積到不可忍受而難調整地步，只好行養液的全部更新。

四、肥料鹽的種類

每一種元素使用的鹽類種類需隨著水質而異。例如水中含大量的鈣，則氮供給源最好用硝酸

鉀（KNO_3）多於硝酸鈣 Ca（NO_3）$_2$。水中如含有一些微量要素的話，其所含有的施用量也得降低。

不管農家自行調製或廠商混合後供農家使用，其肥料量得依作物種類、栽培系統、水質及鹽類的價格而異。表二為數種常用養液大量要素的肥料鹽種類及鹽類的價格。

表二 主要肥料之分子式、分子量、溶解度、純度與價格表

肥 料	分子式	分子量	可吸收養分形態	溶解度（20℃g／ℓ）	純度%	價格 元／公斤
硝酸鉀	KNO_3	101	K^+，NO_3^-	315	95	30
硝酸鈣	無水鹽 $Ca(NO_3)_2$	236	Ca^{2+}，$2(NO_3^-)$	1270	90	45
	結晶 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$				70	
磷酸一銨	$NH_4H_2PO_4$	115	NH_4^+，$H_2PO_4^-$	365	98	40
硫酸鎂	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246	Mg^{2+}，SO_4^{2-}	252	45	15
硝酸銨	NH_4NO_3	80	NH_4^+，NO_3^-	655	98	31
硫銨	$(NH_4)_2SO_4$	132	$2(NH_4^+)$，SO_4^{2-}	754	94	4.6
氯化銨	NH_4Cl	53	NH_4^+，Cl^-	1630		12
尿素	$(NH_2)_2CO$	60	NH_4^+	1000	98	5.6
硫酸鉀	K_2SO_4	174	$2K^+$，SO_4^{2-}	111	90	31
氯化鉀	KCl	74	K^+，Cl^-	265	95	4.8
氯化鈣	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	147	Ca^{2+}，Cl^-	536	75	12
磷酸一鉀	KH_2PO_4	136	K^+，$H_2PO_4^-$	227	98	60
EDTA鐵	Fe-EDTA	421	Fe^{2+}	421	12.5	340
硼酸	H_3BO_3	62	B^{3+}	46	18.0	23
硫酸錳	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	223	Mn^{2+}，SO_4^{2-}	500	99	30

氮素常以硝酸鈣〔Ca（NO_3）$_2$〕及硝酸鉀（KNO_3）為兩種鹽類來源。許多培養液也使用磷酸一銨供給小部份的氮，用氨態氮後可減少硝酸態氮的加入並同時供給磷肥。但如果 NH_4－N 供給總 N 量超過10%以上則可能發生毒害；如番茄的尻腐病（blossom end rot）或萵苣之頂燒病（Tip burn）等的發生。

磷通常由磷酸一鉀補充（KH_2PO_4），其溶解度雖高，但價格太貴；磷酸一銨（$NH_4H_2PO_4$）價格較低，但要注意 NH_4^+-N 含量，以避免發生氨毒害。

鉀可由硝酸鉀（KNO_3）供給，不足者由 KH_2PO_4補足。若認 KH_2PO_4太貴，開放式系統（指以滴灌方法）養液不回收者可用價格較低的硫酸鉀（K_2SO_4），而循環式系統則必需注意硫的累積量。

鎂大部分以硫酸鎂（$MgSO_4$）供給，如在循環式系統下必需注意養液中硫的累積，也可考慮以硝酸鎂〔Mg（NO_3）$_2$〕供給鎂及氮，以避免硫害。

硫通常由含鎂或鉀鹽的肥料。而發生硫的過多遠於過少。尤其是水中本來就含有硫者，更易有過多現象。

其他如水中含大量硫而不含氯時，則鎂改施氯化鎂（$MgCl_2$），若水中含高量的[illegible]及硫，則可用磷酸鎂。硝酸鈉（$NaNO_3$）可補充部分的氮，但總鈉含量必需低於30－50ppm [illegible]最便[illegible]者可用硫酸銨或硝酸銨，但是因其含有銨的存在，許多的研究者為顧及其傷害，寧可[illegible]用以避免危害。還有氮源常來自於硝酸，以減少硝酸鈣的使用量，可避免循環式系統中鈣含量過高。但硝酸

具有腐蝕性，使用時必需注意。

磷最便宜的供給源為過磷酸鈣，但因溶解度低，所以少用。最佳磷源為磷酸，其腐蝕性較硝酸為低且易操作，為許多研究者所推薦的。

表三 數種常用養液大量要素的肥料鹽種類

	KNO_3	$Ca(NO_3)_2$	KH_2PO_4	K_2SO_4	$MgSO_4$	$Mg(NO_3)_2$	$NH_4H_2PO_4$
Hoagland 1	V	V	V		V		
Hoagland 2	V	V			V		V
日本園藝	V	V			V		V
Wilcox	V	V	V	V	V		
Wye	V	V	V	V		V	

上所表三所列肥料鹽的處方，大致用四種類或五種類鹽，也有用六種類鹽調製的。鹽類選擇之順序可歸納如下：

①磷酸選取容易溶解的鹽類，依陽離子結合 $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ 的順序。先以 KH_2PO_4 施用，再考慮 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$，$Mg(H_2PO_4)_2 \cdot 3H_2O$。而 $NH_4H_2PO_4$，則需留意銨的含量。

②鈣鹽則 $NO_3^- > SO_4^{-2}$ 的順序選擇。即優先選用 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$。

③鎂鹽則以 $SO_2^{-2} > NO_3^-$ 的順序選擇。優先利用 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$。

④NO_3^- 則將上述鈣鹽所施 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 之含氮量扣除外，用 KNO_3 來補足。

⑤鉀則以 KNO_3 為主，不足時再以 K_2SO_4 補足。

參考文獻

1.山崎肯哉　1986　養液栽培全篇　日本博友社　P28-80。

2.王銀波　1989　培養液的化學性及其管理　養液栽培講習會專刊　第二輯　60-68。

3.沈再發、許淼淼　1989　作物的營養特性及影響養液組成之因素　養液栽培講習會專刊　第二輯　44-59。

4.Cooper, A. 1979. The ABC of NFT. Grower Books, 49 Doughty St., London, Great Britain, WCINZLP 181pp.

5.Gerber, J. M. 1985. Plant growth and nutrient formulas. Hydrroponics Worldwide. Editor by Adam J. Savage. p.58—69.

6.Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical Comm. No.22. Commonwealth Agri. Bureau, Farnham Royal, Bucks. England.

7.Resh, H.M. 1978. Hydroponics Food Production. Woodbridge press publishing Co. Santa -bara, CA, 93111, 287pp.

養液栽培技術講習會專刊 第三輯 14～26，1990

培養液之理論與實際

王銀波 吳正宗*

一、培養液的組成成分

植物所需的基本營養要素有16種，其中碳、氫、氧來自水和空氣，其餘13種則需由培養液供應。氯極易自水、空氣及鹽類不純物中供應，除了特殊需氯作物之外，培養液中不易缺乏，所以在培養液組成成分內，無需格外考慮。其他12種要素在培養液中之絕對量、相對量及存在形態都是培養液之組成成分所必需注意的。

實際水耕栽培的理想培養液，必需具備易被作物根吸收之形態及滿足植物生長所需之平衡量，因此，需具下列四項條件：

1. 水耕液在生長期中之 pH 必需穩定，如此可以確保養分以可利用之離子形態存在，不致沈澱不溶解。
2. 各元素在生長期中維持既定比例或近於既定比例，以供應作物平衡之營養素。
3. 生長期間培養液之修補簡單容易，以配合各階段植物生長所需要 。
4. 養液之貯藏保存期間穩定，不致因貯存而發生沈澱、揮散等減少原有之成分含量。

為了達到上述目的，可以從其成分之形態、各離子比例、養分肥料之資材加以考慮。

能與作物營養特性配合的培養液配方，並非僅限於培養期間 pH 值、組成成分與濃度變化較少，尙需具備增加單位產量，提高產品品質及減少單位產量成本之優點，方為一最佳的培養液配方。

二、本省常用的培養液肥料及肥料配方

培養液用肥料的選用必需從其所能提供的養分形態及價格來考量，日本最常用的肥料及其價格如表一。本省常用的肥料及其價格如表二。

表一中多量元素中括弧硝酸銨為增加氮濃度所用，微量元素括弧內之硫酸鋅、硫酸銅與鉬酸鈉使用井水時一般可以不加。

表一 日本最常用養液栽培肥料

多量元素肥料	微量元素肥料
硝酸鈣	（硫酸鋅）
（硝酸銨）	（硫酸銅）
第一磷酸銨	硼酸
硝酸鉀	EDTA—鐵
硫酸鎂	氯化錳
	（鉬酸鈉）

* 國立中興大學土壤學系教授及助教

表二　本省常用的養液栽培肥料及其特性

肥料種類	所能提供肥料的形態	價格（元／公斤）
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	Ca^{2+}、NO_3^-	50
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	Ca^{2+}、Cl^-	12
NH_4NO_3	NH_4^+、NO_3^-	31
$(NH_4)_2SO_4$	NH_4^+、SO_4^{2-}	10
$NH_4H_2PO_4$	NH_4^+、$H_2PO_4^-$	72
KH_2PO_4	K^+、$H_2PO_4^-$	64
KCl	K^+、Cl^-	10
KNO_3	K^+、NO_3^-	30
K_2SO_4	K^+、SO_4^{2-}	31
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Mg^{2+}、SO_4^{2-}	12
$MgCl_2$	Mg^{2+}、Cl^-	22
$MnSO_4$	Mn^{2+}、SO_4^{2-}	50
$ZnSo_4$	Zn^{2+}、SO_4^{2-}	33
$CuSO_4$	Cu^{2+}、SO_4^{2-}	39
H_3BO_3	H_3BO_3	49
$FeSO_4$	Fe^{2+}、SO_4^{2-}	16
EDTA－Fe	EDTA、Fe^{2+}	

本省各研究機構常用配方成分如表三、四、五、六。

表三　中興大學夏季小白菜水耕液配方（吳，1989）

	元素	使用肥料	濃度（ppm）
A液	Ca, N	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	40, 28
	Ca	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	40
	Fe	EDTA-Fe	2
	N	NH_4NO_3	40
B液	K, P	KH_2PO_4	13, 10
	K	K_2SO_4，KCl	65（39, 26）
	Mg	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	36
	Mn	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	1
	B	H_3BO_3	0.5
	Zn	$ZnSO_4 \cdot 5H_2O$	0.2
	Cu	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.05
	Mo	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 2H_2O$	0.005
	S		64
	Cl		95

表四 鳳山熱帶園藝試驗分所使用配方（沈，1987）（g／1000ℓ）

培養液處方		硝酸鉀	硝酸鈣	硫酸鎂	第一磷酸銨	EDTA鐵	成分濃度（me／l） NO_3-N	K	Ca	P	Mg	電導度（mS／cm）
福格蘭 I		1010	710	500	230	20	16	10	6	6	4	2.6
福格蘭 II		610	950	500	120	20	14	6	8	3	4	2.4
日本園試		810	950	500	155	20	16	8	8	4	4	2.4
山崎處方	胡瓜	610	830	500	120	20	13	6	7	3	4	2.0
	洋香瓜	610	830	380	155	20	13	6	7	4	3	2.0
	西瓜	610	830	185	60	20	13	6	7	1.5	1.5	1.6
	菠菜	300	470	250	80	20	7	3	4	2	2	1.1
	番茄	400	360	250	80	20	7	4	3	2	2	1.1
	草莓	310	240	125	60	20	5	3	2	1.5	1	0.7
	甜椒	610	360	250	100	20	9	6	3	2.5	2	1.3
	茄	710	360	250	120	20	10	7	3	3	2	1.5
	萵苣	400	240	125	60	20	6	4	2	1.5	1	0.8
	茼蒿	810	470	500	155	20	12	8	4	4	4	2.0
	蕪菁	510	240	125	60	20	7	5	2	1.5	1	0.9
	鴨兒芹	710	240	250	190	20	9	7	2	5	2	1.6
	康乃馨	400	590	310	80	20	9	4	5	2	2.5	1.3
	玫瑰花	300	360	150	60	20	10	3	3	1.5	1.2	1.3
	火鶴花	200	240	200	30	20	4	2	2	0.8	1.6	0.6
	秋菊	400	240	125	80	20	8	4	2	2	1	1.1
	柑桔	200	470	185	60	20	6	2	4	1.5	1.5	0.9

微量要素的配製

鹽類	10公升
硼酸	300公克
硫酸錳	200公克
硫酸鋅	22公克
硫酸銅	5公克
鉬酸鈉	2公克
硫酸	10毫升

每1000公升培養液內，加入上述濃縮液100ml。

表五　台中區農業改良場葉菜類水耕營養液基本配方（高，1987）

	營養液名稱	用量 mg／ℓ
巨量元素	硝酸鈣（$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$）	236
	硝酸鉀（KNO_3）	404
	硫酸鎂（$MgSO_4 \cdot 7H_2O$）	123
	磷酸一銨（$NH_4H_2PO_4$）	57
微量元素	Fe-EDTA	29
	硼酸（H_3BO_3）	1.2
	氯化錳（$MnCl_2 \cdot 4H_2O$）	0.72
	硫酸銅（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）	0.04
	硫酸鋅（$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$）	0.09
	鉬酸鈉（$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$）	0.01

表六　台灣大學山地農場所採用配方（張，1988）

	1號肥料	2號肥料						微量元素			
	硝酸鈣	氮	磷	鉀	鎂	錳	硼	鐵	銅	鋅	鉬
含量%	11	10	8	20	5	0.1	0.1	0.18	0.04	0.08	0.04

另外本省常以地下水做為水耕液用水，地下水中所含離子會影響作物的栽培，以中興大學為例，其地下水水質分析如表七，由表七可以發現水質中鈣與鎂之存在量不容忽視，故必需在肥料鹽中酌減，以免影響水耕液配方中必需離子的平衡。通常地下水質之 EC 值在0.2 mS／cm 以下很好，可以使用，0.5 mS／cm 以下則應注意其內所含成分，更高則不宜使用。

表七　夏季中興大學地下水水質分析表（吳，1989）

pH	EC	NH_4^+-N	NO_3^--N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo	S	Cl	Na
	mS／cm	ppm													
7.1	0.34	0.9	6.0	0.1	2.6	25.5	13.8	0.04	0	0.14	0.02	0	14	7.5	2.0

三、培養液組成成分的理論

(一)培養液組成成分組合目的

培養液因各種作物不同，需要的濃度、各種離子的比例及需要的形態等之組成成分不同，而大不相同。培養液之組成成分依據作物品種外，栽培方法、栽培季節、成長階段及周圍環境條件（包括日照及溫度）來選用適當組成成分的培養液，以利於作物生長最佳、產量最高、品質最好。

(二)培養液組成成分的決定方式

決定培養液的組成成分時，可採取若干不同的方法，惟至少需經過以下兩項程序，其一，針對能正常成長及收穫量較高的作物植體進行分析，以查出該作物所需吸收之元素的正確需求量。

依據其吸收量，雖可了解植物所需吸取的離子比例與各個離子的總量，然而，對於其與吸水量間之關係，以及培養液中各個離子的濃度，卻無從決定。從事無土栽培時，經常調查培養液中逐漸減少的液量與離子含量，依據各類離子間的比例及各個離子的總量，以決定各種離子被吸取的濃度。其二，依據調查結果，做為基本資料。利用各種不同之總離子濃度及離子間比率的培養液從事栽培，依據實際栽培結果，以決定何種組成最為恰當。目前對培養液組成大體循下列三項標準，從事研究與調整。

1.就各個離子之不同比率配合，觀察其實際栽培結果，成長狀況是否良好，而採用收量最佳的配方，作為組成成分。日本園藝試驗場配方及 Steiner 培養液，均係利用此方式決定的。

2.針對各個作物詳細調查其對營養液的吸取量，然後，依據其吸收情形決定組成成分，再配合實際栽培時的成長狀況與收穫量等，決定其組成成分。山崎的番茄配方，即依據此項方式訂定的。

3.使吸取較多的離子比率積極提高，吸取較少者的比率降低，做為培養液的組成成分。神奈川園試處方，即係依據此方式所訂定的。

此外，尚與培養液是否一再使用、培養液的更新頻度、培養液分析的頻度、組成成分紊亂後是否執行補償等有關，故應小心使自己的培養液維持在適當的濃度與比例。

㈢三種培養液配方之組成理論

1.日本園試標準配方是根據作物對要素之吸收量所決定的，即經由植體分析得知每株作物所吸收的要素量來決定配方，以胡瓜為例，詳如表八。

表八 日本園試標準配方組成濃度之決定方式

	N	P	K	Ca	Mg	S
每株胡瓜吸收成分量 (g)	6	1.1	8.3	4.3	1.2	0.33
換算成要素之毫克當量 (meq)	430	103	213	215	100	20
配製水耕液以鉀為 8 me／ℓ 時其他要素之值（me／ℓ）	16	3.9	8	8	3.8	0.8

由表八所決定的園試配方是根據作物吸收肥料比例大致與植體分析比例相同的構想所決定的，但實際栽培結果，不同作物的吸收量及其比例並非完全一定，特別是番茄，以此培養液栽培時，在高溫易缺鈣而嚴重發生頂腐病，所以在栽培番茄時應提高鈣的濃度。

2.山崎蔬果配方係根據園試配方為基礎，以吸收濃度（ n／w 值 ）來決定培養液的內含物，即吸收的元素量與吸收的水量之比。其決定方式以草莓為例，如表九。其他蔬果之試驗結果如表十。以此吸收成分比所組成的培養液在作物生長的整個過程中，如其濃度降低時，其組成成分的比例也以同樣比例下降，所以欲以追肥回復其原有之濃度也較簡單，即養分的添加修補較容易。

3.Steiner 培養液係以陽離子（Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}）之當量及相近於陰離子（NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}）之當量和為前提，而各陰陽離子間之比值則係根據植體分析之比值而訂定的，訂定再根據實際栽培結果求得最適濃度，其適當範圍如圖一。根據 Steiner（1980）試驗結果陽離子之比值為 K^+：Ca^{2+}：Mg^{2+}＝45：35：20，陰離子之比值為 NO_3^-：$H_2PO_4^-$：SO_4^{2-}＝60：5：35時最為恰當。

表九　草莓開花前後 n／w 值之測定　　　（山崎，1984）

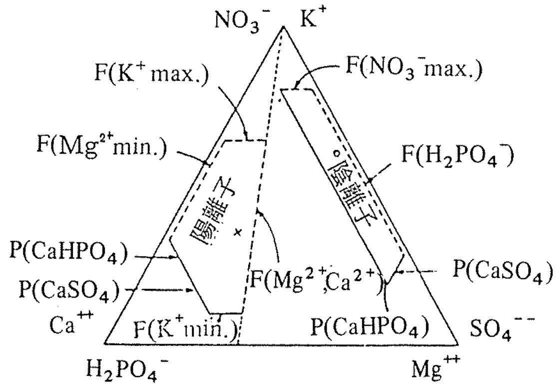
	處理濃度 (me／ℓ)	測定事項	水量(ℓ) 前期	水量(ℓ) 後期	測定事項	NO_3—N 前期	NO_3—N 後期	K 前期	K 後期	Ca 前期	Ca 後期	PO_4^{3-}-P 前期	PO_4^{3-}-P 後期	Mg 前期	Mg 後期
NO_3^--N	8	a	10	10	y	8.10	8.20	4.41	4.80	3.98	3.82	1.82	2.01	2.11	2.03
NH_4^+-N	0.65														
K	4	w	2.3	2.7	y_1	8.99	8.10	4.99	4.54	4.60	4.04	1.93	1.68	2.40	2.14
Ca	4														
PO_4^{3-}-P	2														
Mg	2				n/w	5.12	8.47	2.47	5.50	1.90	3.85	1.48	2.30	1.14	1.74
SO_4^{2-}-S	2														

註：a＝總水量，w＝吸水量，y＝起始濃度，y_1＝測定時濃度，n＝養分吸收量

$$n／w＝植物吸收濃度＝\frac{ay-(a-w)y_1}{w}$$

表十　常見蔬果之吸收養分之濃度 (n／w 值) (me／ℓ)（山崎，1984）

作　物	NO_3^--N	NH_4^+-N	K	Ca	Mg	PO_4^{3-}-P
洋香瓜	13	4	6	7	3	4
黃　瓜	13	3	6	7	4	3
番　茄	7	2	4	3	2	2
草　莓	5	1.5	3	2	1	1.5
甜　椒	9	2.5	6	3	1.5	2.5
萵　苣	6	1.5	4	2	1	1.5
春　菊	12	4	8	4	4	4
茄　子	10	3	7	3	2	3
小蕪菁	7	1.5	5	2	1	1.5
芹　菜	9	5	7	2	2	5



圖一　於0.7大氣壓、pH6.5之狀態下，各個陰離子與各個陽離子之比值的適當範圍（Steiner, 1984）

P 為產生沈澱的界限，F 為生理的界限

㈣氮源形態對水耕栽培的貢獻

早期的培養液以 NO_3^--N 為主要的氮源，但事實証明併用部分 NH_4^+-N 則不論何種作物，均可以得到較佳的結果，但 NH_4^+-N 與 NO_3^--N 之間的比值究竟如何才可以得到最佳的結果，則各種作物並不一致。依據池田及大澤二人，就20種不同的蔬菜幼苗，在 NO_3^--N 與 NH_4^+-N 二者相同濃度的條件下，調查其優先吸收狀態時所獲得的結果，如表十一

表十一蔬菜在不同 pH 值下對不同氮源的吸收特性（池田、大澤，1981）

pH	優先吸收 NH_4^+-N	優先吸收 NO_3^--N	NH_4^+-N 與 NO_3^--N 二者吸收大致相同者
5	玉米、萵苣 草莓、芹菜 香瓜、水芹菜 黃瓜、鴨兒芹 茼蒿	豌豆、菠菜 西瓜、白菜 菜豆、甘藍 番茄、小蕪菁 甜椒	茄子 青豆
7	玉米、萵苣 草莓、芹菜 香瓜、水芹菜 黃瓜、茼蒿 青豆、鴨兒芹 甜椒、茄子	菠菜 白菜 小蕪菁	菜豆 甘藍 豌豆 番茄 西瓜

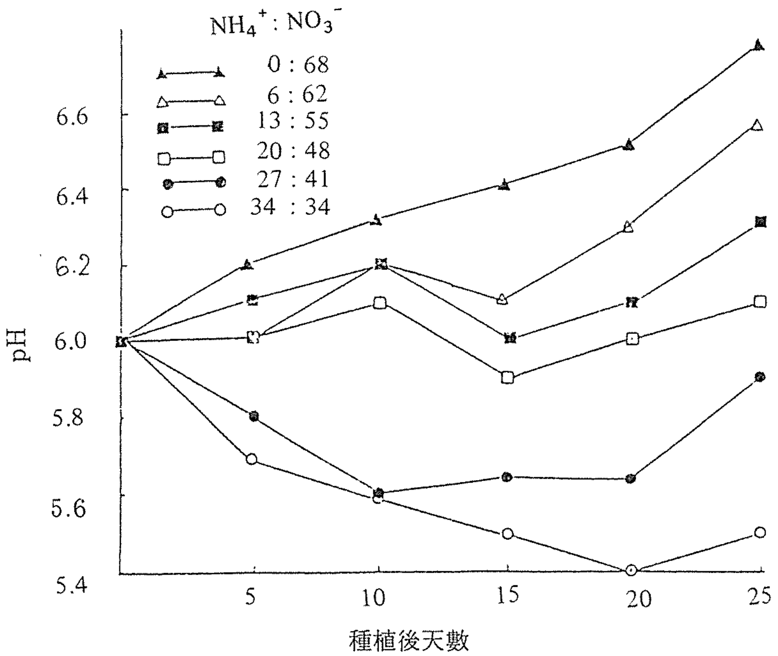
由表十一可知一般白菜、菠菜等優先吸收硝酸態氮，而玉米、草莓、黃瓜、香瓜、萵苣、芹菜等優先吸收銨態氮。

一般培養液之 pH 值，以 NO_3^--N 作為氮的供應源時，呈現 pH 值上升的傾向；以 NH_4^+-N 做為氮的供應源時，則呈現顯著降低傾向。培養液中之 pH 值的變化，雖然並非僅受此施加之氮形態的影響，同時亦受作物種類的影響。改變培養液中 NO_3^--N 與 NH_4^+-N 之比例，實施水耕栽培的結果，對白菜、菠菜等優先吸收 NO_3^--N 之作物而言，培養液中可以容許較高量的 NH_4^+-N 存在，因為當白菜等吸收多量 NO_3^--N 後，易使培養液 pH 值提高，只有培養液內多量 NH_4^+-N 的存在，才可以維持 pH 值的穩定，根據吳（1989）小白菜試驗結果，NO_3^--N ：NH_4^+-N ＝48 ppm：20 ppm 可得良好結果。然對黃瓜與萵苣而言，因其為優先吸收 NH_4^+-N 的作物，培養液中僅少量 NH_4^+-N 之存在便會使 pH 值降低，故其培養液中 NH_4^+-N 的用量就不宜太高。

通常培養液中 NO_3^--N 與葉片中之濃度成正比，培養液中 NO_3^--N 的濃度愈高，則葉片中之濃度亦愈高，如表十二。為使葉片中 NO_3^--N 濃度降低，最重要的莫過使培養液中的 NO_3^--N 濃度降低。此外，與 NH_4^+-N 併用亦能收到效果，白菜與菠菜為優先吸收 NO_3^--N 強烈傾向的蔬菜，此類蔬菜即使與 NH_4^+-N 併用，葉片中所含之 NO_3^--N 濃度，亦不致降低太多，但併用 NH_4^+-N 確可使 pH 值穩定，如圖二，pH 值如果穩定，對於其他養分的控制較為容易。萵苣則不同，係優先吸收 NH_4^+-N 的蔬菜，當併用少量 NH_4^+-N 時，其葉片中 NO_3^--N 濃度降低的效果相當明顯。

表十二 培養液中 NO_3^--N 與 NH_4^+-N 的濃度及其比例對蔬菜葉片中 NO_3^--N 濃度的影響（乾物%）（池田、大澤，1983）

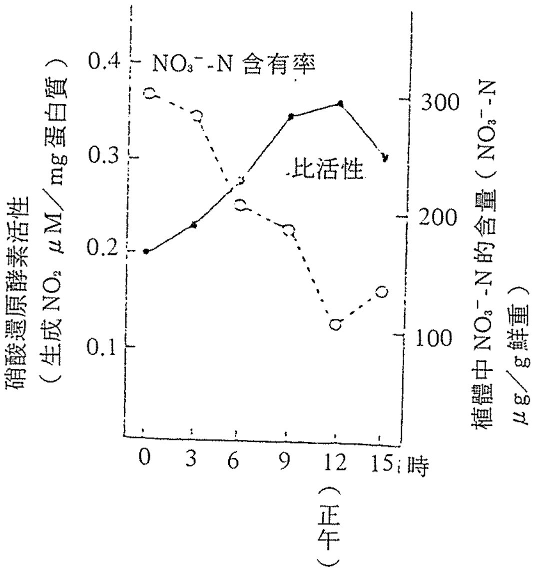
NO_3^- : NH_4^+ 當量比		萵苣	白菜	菠菜	小蕪菁
3.0	0	1.62	1.77	0.96	1.08
2.5	0.5	1.42	1.88	0.77	1.07
2.0	1.0	1.01	1.95	0.68	0.69
1.5	1.5	0.72	1.37	0.37	0.79
1.0	2.0	0.59	1.02	0.21	0.56
0.5	2.5	0.26	0.51	0.10	0.20
0	3.0	tr	tr	tr	tr
12	0	1.66	2.10	1.39	2.27
10	2	0.93	2.64	1.08	2.16
8	4	0.99	2.70	1.22	1.98
6	6	0.90	2.25	1.24	1.95
4	8	0.72	2.12	0.99	1.84
2	10	0.64	1.62	0.58	0.92
0	12	tr	tr	tr	tr



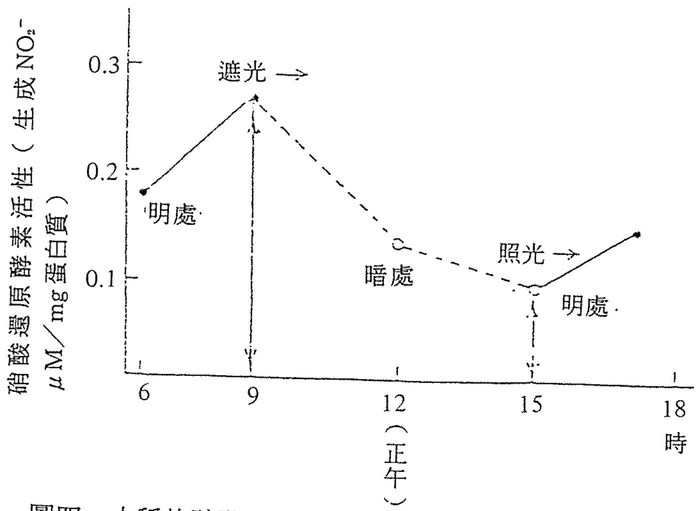
圖二 不同氮源比例對小白菜生長期中 pH 值的影響（吳，1989）

培養液中，即使施用濃度極高的 NO_3^--N，亦不致對作物生長形成障礙，若單獨使用 NH_4^+-N 時即使濃度較 NO_3^--N 低出甚多，仍易對作物生長造成不良影響；另一方面，植物內已含有 NO_3^--N ，若未經過還原成為 NH_4^+-N 時，亦無法成為同化物質，而且，此項過程需要能量，

NH_4^+-N 則不同，可直接同化，因此，就氮的供應源而言，NH_4^+-N 實優於 NO_3^--N 。根據柴田等（1969）的水稻試驗指出，NO_3^--N 還原酵素的活性，對光具有強烈的依存性，如圖三、四，當光度強時（中午時分）酵素的活性高，NO_3^--N 在植體內累積的量少，故在自然環境下，夜間植體內累積多量的 NO_3^--N，白晝照光，則 NO_3^--N 急速還原銨化而減少，所以採收作物以選擇在傍晚時為宜，避免植物體內累積大量 NO_3^--N 而影響人類食用的安全性。由上述可知，弱光下 NO_3^--N 之還原較差，所以在弱光下，提供適量 NH_4^+-N 的供應，產量增加較顯著，位田、永井二位專家以鴨兒芹試驗結果如表十三。



圖三 水稻體內 NO_3^--N 含量與硝酸還原酵素活性的關係（柴田等，1969）



圖四 水稻的硝酸還原酵素活性 對光照處理的影響（柴田等，1969）

表十三　不同氮源比例與日照強度對鴨兒芹產量的影響（位田、永井，1981）（克）

NO_3^--N：NH_4^+-N (me／l)	日照強度 Lux 12000 產量	12000 相對百分率	6000 產量	6000 相對百分率	3000 產量	3000 相對百分率
10：0	9.80	100	8.14	100	6.42	100
6：4	9.99	101	10.02	123	8.93	139
5：5	11.94	121	10.10	124	8.89	138
4：6	12.59	128	10.28	126	9.00	140
2：8	10.14	103	9.79	120	5.73	89

根據上述分析，適量的併用 NH_4^+-N 確有優點：

1.可幫忙維持生長期中養液 pH 值的穩定；

2.降低 NO_3^--N 在植體內的累積量，使品質提高；

3.增加葉片翠綠的顏色，葱的葉片不易折斷；

4.使作物產量增加。

所以，針對各種作物，不同季節、不同生長期間對培養液做適度的調整，可以得到上述四項效果。

㈤適度調整培養液的必要性

各項離子之適當濃度，因植物類別、成長階段、氣象條件、作物型態、固體培養基的有無、性質以及培養液供應方法等的不同，而有差異。若栽培時間較長，培養液的組成成分發生顯著變化時，通常農戶會於每作期間內，實施培養液的部分或全部換新。培養液組成成分發生變化的原因，大多因其組成成分未能與該作物的個別營養吸收特性符合所導致的。作物的營養特性，不僅因種類的不同而有差異，且因栽培時間的長短而有變化，若為果菜類，因開花前的營養生長期，以及開花後的生殖生長期，成長階段的不同，其營養特性亦有差異，因此，必需設計適合不同作物，不同生長階段的培養液配方，如此才可確保產能的穩定。如表三、四、五、六、八、九、十即為各種不同作物，經各專家研究所提出適合各該作物的培養液配方。其中表九為山崎以草莓利用不同 n／w 值所得不同生長期使用不同的培養液配方，由表九結果可知草莓生長末期需要添加多量的養分，尤其是鉀與磷的補充更為重要。

四、培養液的實務

在台灣栽培蔬菜最大的困難在於夏季，其水耕液中溶氧量不足，所以栽培實務僅就此加以討論。

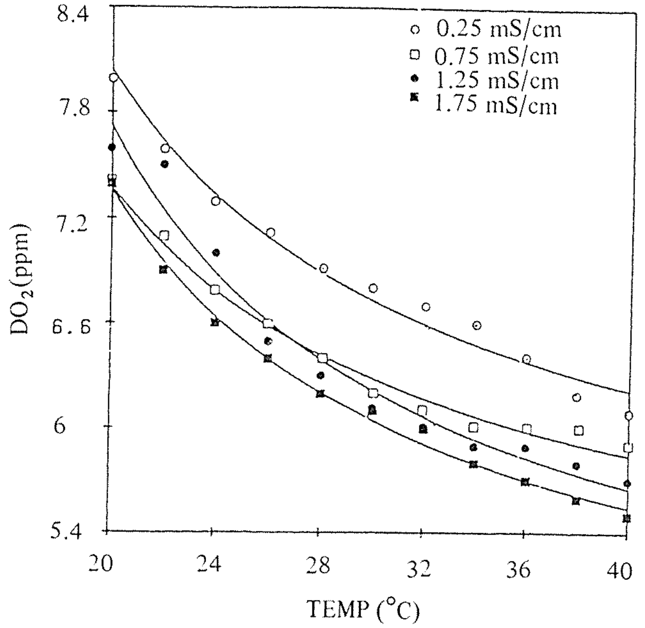
台灣年平均溫度都在10℃以上，在10℃以下出現只有在寒流來襲的晚上，白天極少，因此，栽培各種作物寒害之發生極少，設施裡溫度較外面高，受害尤少，但在夏季則溫度高，設施裡更高，在從事水耕栽培時，由於溫度太高會引起溶氧量不足，在長期缺乏氧氣的情形下作物根部的生長會衰退褐變而死亡，因此，夏季水耕栽培最大的挑戰便在於如何提高培養液的溶氧量。通常增加溶氧量的方法很多，有遮陰、冷水牆、通風等設施以降低氣液溫，間接達到增加溶氧的目的，亦有以循環、增設打氣機等直接增加溶氧的措施，但前述方法花費頗巨，運轉亦需費用，除上述方法外，茲列舉數項花費低廉，運轉不需費用的增加溶氧措施。

1.利用土溫來降低液溫：

此係將養液栽培槽埋置於地面下20公分，由於土壤的絕緣作用可使液溫變化變小，在夏季氣溫高的狀況下，液溫不致升高太多，如此可以增加溶氧。

2.降低培養液濃度來增加溶氧：

作物在高溫時呼吸旺盛，蒸散增強，對氧氣及水分的需求自然增加，此時若不降低溫度增加溶氧或降低培養液電導度增加水分供給，則植株將會因吸水不及而有枯萎現象，吳（1989）的夏季小白菜試驗顯示，當液溫達38℃時，將電導度調低至0.75 mS／cm，則小白菜之暫時凋萎時間將縮短，此顯然係因低濃度下水分調節所奏效，此與培養液中溶氧增加亦有關係，試驗証明每降低電導度0.25 mS／cm，約可增加溶氧量0.1 ppm，如圖五。



圖五 不同溫度與濃度下水耕液的溶氧量（吳，1989）

3.利用水位調節以訓練根系：

根據位田的試驗，氧氣的供給不只是由培養液中供給，也可由空氣中補給，如果將 6 克的根，歷經兩小時，從水中和空氣中對氧的吸收量比較如表十四，根據結果顯示空氣中補給氧氣的效果是從水中供給氧的兩倍以上，所以根的曝氣是很重要的，但根系之曝氣必需在不影響水分吸收的前提下為之，吳（1989）試驗觀察結果小白菜地上部每生長 5 公分，水位可下降 1 公分，如此可增加小白菜對氧氣的吸收。

Imai（1986）試驗指出根系是可以訓練的。此地所謂的根系訓練有別於土壤中根系的伸展、延長，而是指將根系訓練成不同功能的根，理論上將根系訓練分成吸收養分的根，吸收水分的根及呼吸的根，其中呼吸的根可經由水位的調節而訓練出來，只要根基部水分呈飽和狀態，根毛就會出現，根毛一旦發生則可以解決水中氧氣不足的問題，但在管理上，此部分根只能在溼潤的空氣中生存，乾燥的環境不能存活，並且浸水會使其腐爛，故管理要點即水位只能下降而不能上升。

表十四　從水中和空氣中吸收氧氣量的比較（位田，1974）

種類	氣壓 mm	溫度℃	從水中吸收的氧氣量 (mg)	從空氣中吸收的氧氣量 (mg)	比　率（空氣中／水中）
茄子	764	23	0.84	1.71	2.03
	764	23	0.96	2.14	2.22
	760	25	1.20	2.56	2.13
番茄	768	28	1.64	4.00	2.43
	762	26	1.56	3.65	2.34
	762	23	1.38	3.40	2.46

圖六　溶氧不足根系有褐變及根毛生成情形

圖七　溶氧充足根系白皙，幾乎沒有根毛

參考文獻

1. 山崎肯哉 1984 養液栽培全編 博文社 日本。
2. 土岐知久 1986 NFT水耕栽培の實際 農業および園藝 61(1)：135-146。
3. 王銀波 1989 培養液的化學性及其管理 養液栽培技術講習會專刊第二輯 鳳山熱帶園藝試驗分所 60-68。
4. 池田英男 1986 作物の榮養特性からみを培養液管理 農業および園藝 61(1)：205-211。
5. 宇田川雄二 1986 NFT水耕栽培の實際 農業および園藝 61(1)：135-146。
6. 竹下純則 1974 培養液管理の實際と改善點 野菜の養液栽培 農耕と園藝 71-75。
7. 吳正宗 1989 夏季小白菜水耕液配方及管理技術之研擬 國立中興大學碩士論文。
8. 佐佐木皓二 1986 循環式水耕栽培の實際 農業および園藝 61(1)：122-128。
9. 位田藤久太郎 1974 溶存酸素の管理 野菜の養液栽培 農耕と園藝 28-31。
10. 沈再發 1987 葉菜類浮根式水耕栽培 豐年37(1)：31-33。
11. 並木隆和 1986 培養液組成の理論と實際 農業および園藝 61(1)：197-204。
12. 板木利隆 1986 循環式水耕栽培の理論 農業および園藝 61(1)：115-121。
13. 高德錚 1988 動態浮根式葉菜水耕栽培技術 養液栽培技術講習會專刊第一輯 鳳山熱帶園藝試驗分所 42-49。
14. 高橋英一 1974 比較植物營養學。
15. 張國珍 1988 NFT養液薄膜栽培 養液栽培技術講習專刊第一輯 鳳山熱帶園藝試驗分所 31-41。
16. Imai, H. 1986. AVRDC noncirculation hydroponic system. AVRDC, ROC.
17. John, J.B. 1983. A Guide for the Hydroponic Soilless Culture Grower. Timber Press, U.S.A.
18. Resh, H.M. 1985. Hydroponic Food Production. Woodbridge Press Publishing Co., U.S.A.

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　27～32, 1990

養液栽培蔬菜之品質及其栽培技術之改善

篠原　溫* 著
林 榮 貴** 譯

日本的設施園藝始於1961年礫耕，迄今歷經廿餘年。養液栽培面積也增加到約300公頃。最近由於 NFT、岩綿栽培等低成本且較具安定性的栽培法開始推廣以來，引起過去飽受連作障害之苦的農家再度寄與期待。養液栽培本來是一種解決連作障害的栽培方式，最近才開始大力推廣，強調它可以大面積穩定省工栽培，同時亦以“清潔蔬菜”為標榜，提高其售價。此外，也有一部分所謂蔬菜工場已經開始從事營利性栽培，由此可預見不久的將來，養液栽培將會有劃時代性的發展。

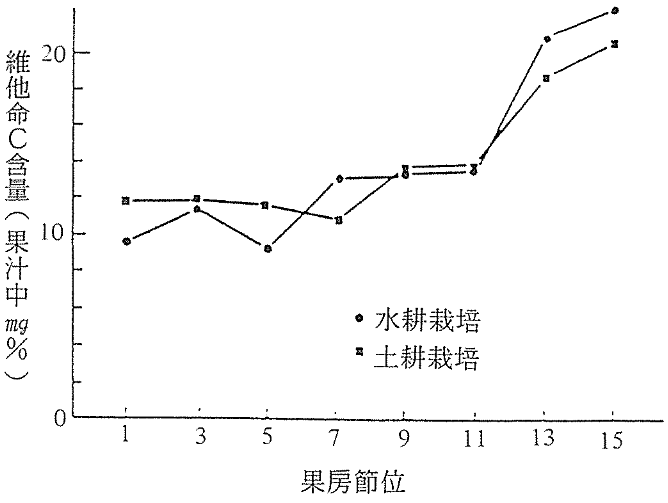
在這種高度集約栽培下，產物的品質特別是成分的評價相當受議論，可惜有關這方面的資料極為缺乏。養液栽培與土耕栽培的比較試驗，由於無法使兩者在完全相同的環境下生長，難以得到預期的結果，因此很少人願意涉及此方面之研究。目前日本的蔬菜生產正面臨著生產過剩之困擾，如何生產價格高、品質優良之蔬菜，乃是最主要的課題。在超級市場上可看到標示“完熟蔬菜”、“有機農法蔬菜”、“綠色健康蔬菜”的攤位，其價格均較一般蔬菜為貴。養液栽培所生產的蔬菜，因其味道及營養與一般土耕栽培之蔬菜不同，故其價格與一般蔬菜有別。日本農林水產省亦將如何提高蔬菜工場所生產蔬菜的品質，列為生物技術育種的目標之一，由此可見蔬菜品質的改善今後將更受重視。

品質包括外觀、味道、香氣、質地、營養成分含量、病害及農藥殘留等項目。目前為止，研究的重點大都偏重於外觀及味道。本文係針對成分含量來評估品質，特別是以維他命 C 含量為中心，敍述目前的栽培實況及如何藉著栽培技術來提高蔬菜品質。

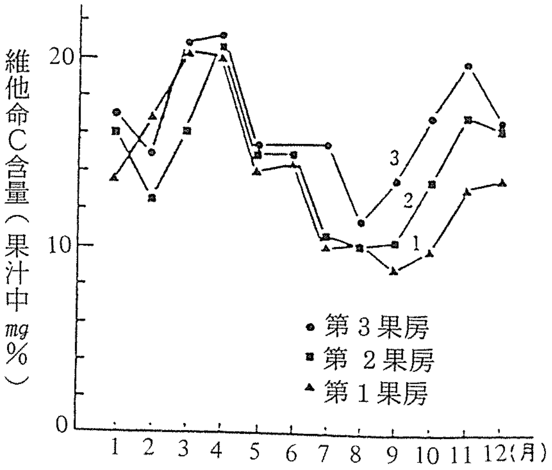
番　茄

水耕番茄果實的著色、光澤和內容物的充實度，與土耕番茄截然有別，酸味較低甜度較高，品質較優良，頗能發揮水耕的特色。作者與京都府大曾做過有關土耕與水耕番茄果實品質比較之研究，得知無論果實成分的含量或果實的硬度，土耕與水耕之間並無顯著差異。以“大型瑞光”為供試品種，不同結果部位果實的維他命 C 含量的變化如圖一所示，土耕與水耕之間並無顯著差異。另以 TVR-2、FTVNR-3 為供試品種，亦得到同樣的結果。可是上述三品種的水耕番茄，結果部位愈低，果實的維他命 C 含量也愈低，此可能係由於水耕栽培的植株莖葉較土耕栽培者繁茂，果實成熟期間受到遮蔭所致。結果部位愈高，其所結果實所受光照較為充足，如第13及第15果房，其維他命 C 含量急速增加。可知番茄果實的維他命 C 含量受到果實表面光照強弱的影響甚大。另外，為了解水耕番茄果實維他命 C 含量的季節性變化，在每月20日播種，調查其第 1～3 果房的維他命 C 含量的變化，結果如圖二所示，果實肥大期日射量愈高，其維他命 C 含

* 日本千葉大學教授
** 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所助研員



圖一 水耕及土耕栽培番茄果實維他命 C 含量與果房著生位置之關係



圖二 番茄果實的維他命 C 含量之季節性變化

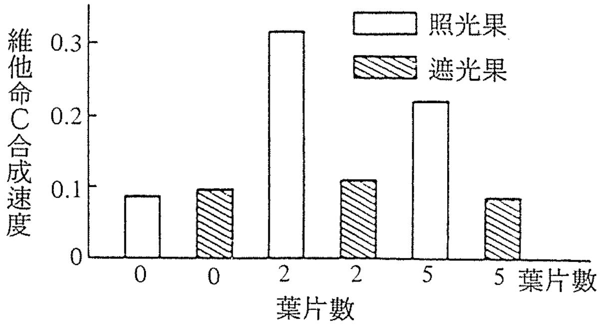
註：品種為大型瑞光，於每月20日播種一次，各播種期均採第 1～第 3 果房

量愈高。果房位置之間雖然因時期不同而有差異，但仍以日照良好的第 3 果房的維他命 C 含量較高。

作者曾以黑色遮光網遮蓋番茄果實，應用放射性同位元素 ^{14}C —葡萄糖測定果實中維他命 C 的合成速度，結果如圖三所示，果實內維他命 C 合成的速度明顯地因果實遮光而受到抑制。本實驗為進一步了解葉片對維他命 C 合成之關係，將葉片數分為 0、2、5 枚等三種處理，不帶葉片者其果實雖然光照充足，維他命 C 合成仍然受到抑制，只要有 2 枚葉片則維他命 C 的合成即可順利進行。

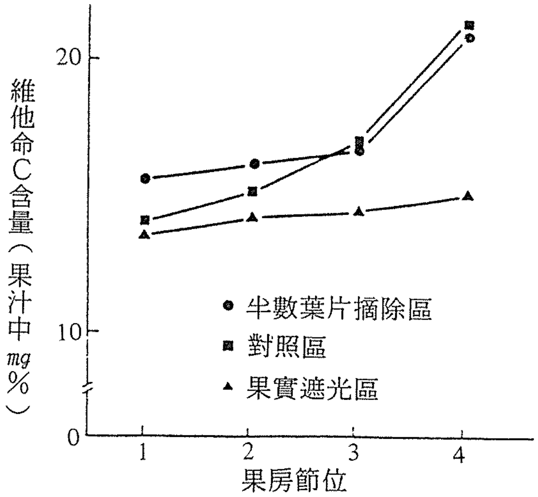
由以上的結果得知，為了使番茄果實的維他命 C 合成順利進行，果實必需有充分的光照，而葉片的存在也是必要的。作者在其他實驗亦證明：對果實內維他命 C 合成而言，並不需要很大的葉面積，只要光合作用產物能轉流入果實內，不管轉流量的多寡，維他命 C 的合成均能進

行。實際栽培時，莖葉過分繁茂的情況下，如何才能防止維他命 C 含量的降低？番茄行水耕栽培時，摘除下位葉，使其光照充足即可提高下位果房果實的維他命 C 含量，如圖四所示。因此，冬季栽培番茄應該避免密植，下位果房的果實達到綠熟期時，整理其周圍的葉片，使果房的光照充足，可得到含有相當高維他命 C 之番茄，與夏季栽培之番茄品質相類似。



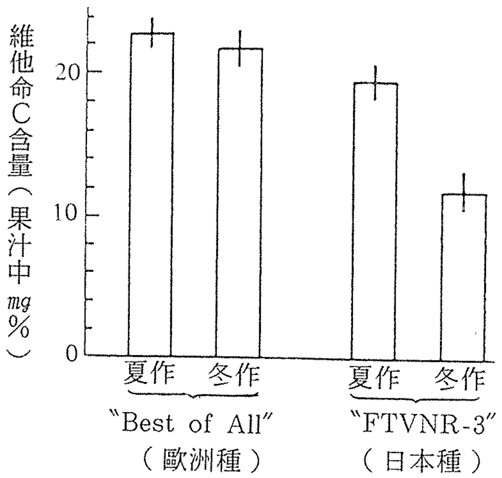
圖三　番茄果實中維他命 C 的合成速度

註：果實只採收第一果房，葉片數整理成 0, 2, 5 枚，
半數果實以黑色遮光網遮光



圖四　摘葉與遮光處理對番茄果實維他命 C 含量之變化

除此之外，適應弱光照品種的育成，亦為在冬季弱光照下生產高維他命 C 含量番茄的方法，圖五係北歐型品種“Best of All”與日本品種“FTVNR-3”維他命 C 含量之比較，北歐型品種即使在冬季栽培，其所含維他命 C 含量較夏季栽培毫並不遜色。不過由於歐洲品種屬於小粒紅色系統，日本的消費者過去喜愛大粒品種，推廣小粒紅色品種似乎較為困難，但是最近消費習慣逐漸改變，番茄果汁的消費日漸增多，紅色小番茄也漸受歡迎，生產紅色小粒番茄的可能性相當高。當然也希望能夠育出適合水耕栽培的品種。



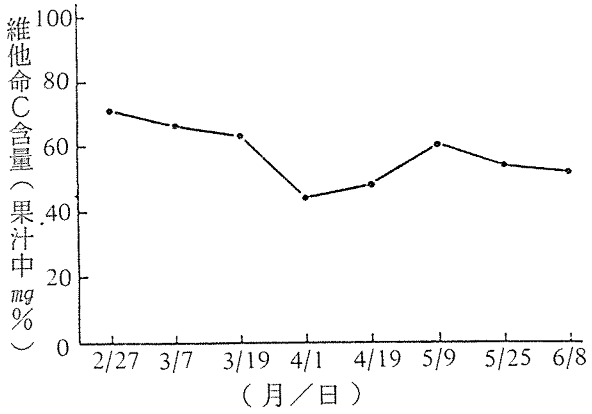
圖五　歐洲品種與日本品種番茄果實維他命C含量之季節變化

其他果葉類

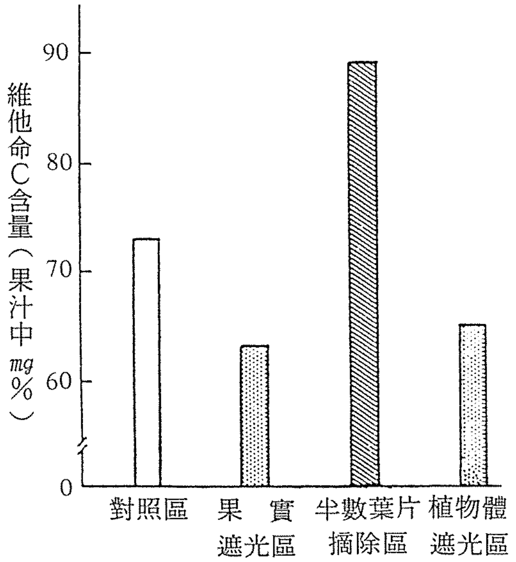
如前面所述，有關水耕蔬菜品質的研究極少，很難搜集到可供參考的文獻報告。在此僅介紹一些生產者與市場關係者對品質的不同觀點。首先以胡瓜為例，就果形而言，有的喜歡細長形，有的喜歡短大型，並沒有一定的喜好傾向，但有共識的是果皮色澤，一般均認為要有獨特的光澤，不帶蠟粉。此外，吃起來是否清脆可口亦為品質優劣的評判項目。

其次是洋香瓜，目前水耕栽培的品種以Earl′s系品種為主，其果實的大小、形狀、網紋、糖度等，個體間差異頗大，品質參差不齊。因此最近大都使用果實外觀整齊、糖度穩定、具耐病性的網紋系統溫室洋香瓜品種。根據神奈川園藝試驗場的試驗結果指出：水耕用品種春作以"Andris"，夏作以"夏綠"品種的品質最佳。無論春作或夏作均以一株一果為原則，若一株留二個果實，則品質顯著變劣。

草莓的水耕栽培雖然歷史較短評價不一，現在所使用的品種有些並不適合水耕用。千葉縣所進行的草莓NFT栽培，係以生長勢較強的"麗紅"品種，在較高濃度培養液（EC 2.0 mS／cm）下栽培，可得良好結果。關於草莓的維他命C含量，曾以"Donner"品種，在12月上旬定植，在不同採收期調查其維他命C含量之變化，如圖六所示。剛開始採收時，維他命C含量最高，而後逐漸降低，4月19日再度增高，到5月9日達到第二高點。此第二高點恰與第二果房的開始採收期一致。由此顯示，第一、第二果房均以頂端果實的維他命C含量較高。過去雖然有報告指出開始採收期的果實維他命C含量較高，但第2果房開始採收期的果實維他命C含量會再度增高之現象乃作者首次發現的。此現象可推測草莓除了受環境條件影響外，頂端果實的sink能量（將同化產物轉移到果實的力量）愈高，則糖與維他命C的含量就愈高。可是由圖七的試驗結果顯示，光照亦為影響草莓維他命C含量之因素。因此在立體化栽培時，雖然增加栽植株數可增加產量，但為提高品質，並非株數可無限制增加，此點必須加以衡量得失。此外，果實發育期間，儘量使果房光照充足，適度的摘除果房附近的葉片，可提高果實的維他命C含量。



圖六　草莓("Donner"品種　)的採收期與果實維他命C含量之變化



圖七　光照及葉面積對草莓果實維他命C含量之影響

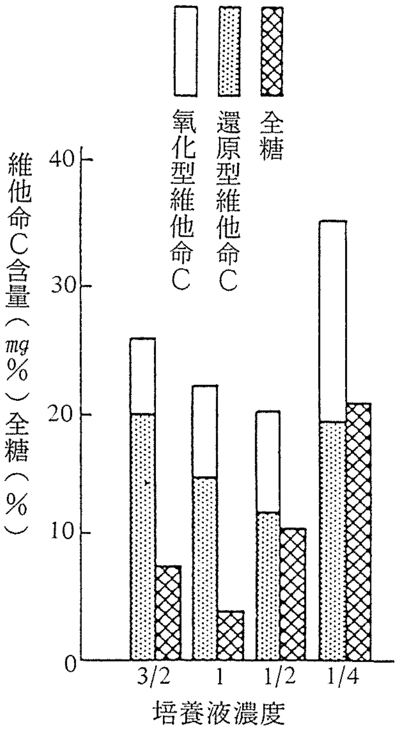
葉菜類

水耕栽培的葉菜類有鴨兒芹、葱、萵苣等，最近植物工場生產的葉萵苣、蘿蔔苗亦逐漸增加。大多的水耕葉菜都以"清潔蔬菜"的形象來販賣，以泡綿保鮮，可延長貯售壽命和品質。

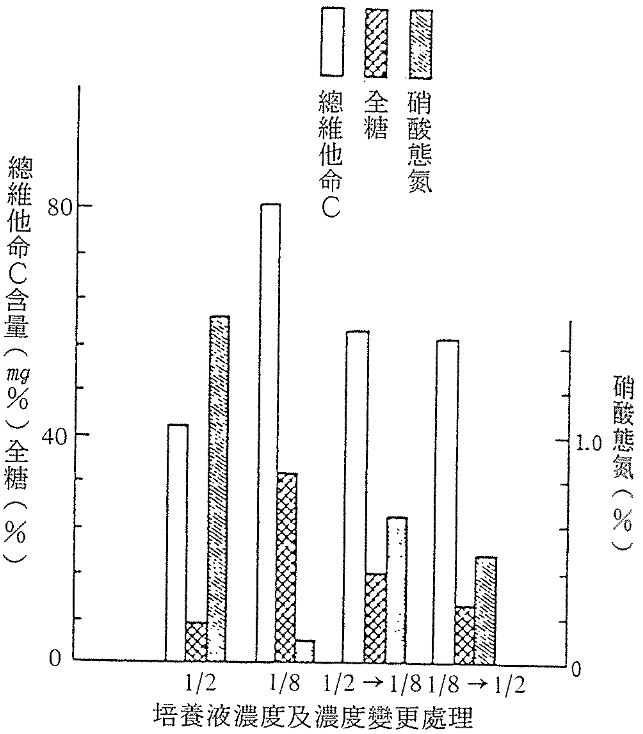
作者曾以萵苣、鴨兒芹探討栽培條件與維他命C含量之關係，其結果頗為有趣，在此略為介紹。首先，培養液濃度之影響如圖八所示，以1/4濃度的稀薄培養液栽培的萵苣，其維他命C和糖的含量顯著較高，同時對人體有害之硝酸態氮含量減少。亦即在此種低濃度培養液栽培所得的萵苣品質最佳，但因其生育卻最差而無法實用化。因此為提高萵苣的維他命C和糖含量，在生育末期將培養液改變成低濃度，經過2日後分析其成分，得圖九之結果。濃度未改變前以1/2濃度區的維他命C和糖的含量較低，硝酸態氮含量較高，若將其濃度由1/2變為1/8，經2日後，即可提高其維他命C與糖的含量，並降低硝酸態氮的含量，得到高品質的萵苣。現在葉菜類大多種植在保利龍板上，使之浮在培養液上面，因此改變養液濃度比較簡單，只要遷移保利龍板即可，將來可能實用化。作者亦以鴨兒芹進行同樣的養液濃度處理得知，至少需要1星期才能得到上述相同之效果。鴨兒芹夏季栽培時經常為了防除病害而提高培養液濃度，但從生產物的品質方面來看，提高培養液濃度會降低維他命C含量，增加硝酸態氮含量。另外，在植物工場中，以人工照明進行水耕栽培，有必要分析其維他命C、糖、硝酸態氮等含量，確實評價其成分。作者今後若有機會希望進行此方面之研究。

結　　論

以上，僅從有限的資料與作者本身的實驗結果，就水耕蔬菜之品質加以敍述。作者亦認為水耕的產物與土耕產物有所不同，譬如，水耕的芹菜其香氣確實較土耕的芹菜為淡，可是有時候反而可以利用此種清淡的味道與香氣當做其特色。



圖八　培養液濃度對萵苣維他命 C 及糖含量之影響



圖九　培養液濃度變更對萵苣維他命 C 、糖及硝酸態氮含量之影響

註：成分於濃度變更後之第 2 天分析之。

土耕蔬菜與水耕蔬菜在成分分析上，缺少一目瞭然之差異。不過最重要的是如何能夠善加利用水耕的特徵，生產高品質的蔬菜。因此，育成適合水耕的品種亦甚為重要。幸好目前已有二、三家種苗公司開始從事水耕之專用品種之育種研究，相信不久的將來會陸陸續續育出水耕用品種。育種之目標仍然著重於包括成分評價的品質上。此外，適合於水耕栽培的品種育成後，利用栽培技術來改善品質的研究工作依然十分重要。

參考文獻

1.Granges,A. 1980 . Acta Hort. 98：218。
2.Shinohara, Y. 1981 . J. Jap. Soc. Hort. Sci.50：239-246。
3.Shinohara, Y. 1982 . ADS 29th Int. Hort. Cong.1580。
4.寺西敏　1985　京都府立大學學術報告37：401-406。
5.並木隆和　1984　水耕野菜の品質について　昭和59年度園藝學會小集會資料。
6.板木　1984　養液栽培の實際　農業電化協會。
7.南光美子ら　1979　園藝學研究集錄9：66-70。
8.堀裕　1966　蔬菜花きのれき耕栽培　養賢堂。
9.野菜の品質と流通　1985　農村文化運動 1-44。
10.篠原　溫　1982　園學雜51：338-343。

養液栽培技術講習會專刊 第三輯 33～46，1990

岩　綿　栽　培

沈　再　發*

一、概　　念

岩綿係以玄武岩、石灰岩和焦碳為原料製成，此等之重量比爲4：1：1於1600℃熔解成液狀，經由高速旋轉而製成纖維狀，及酚樹脂處理後使其理化性質呈安定性與親水性的栽培介質。以岩綿栽培作物，可使根圈得到適合之水和空氣的比例，而各種肥料成分的比例也可容易得以控制。以Grodan製岩綿之化學組成列如表一，此等要素於栽培上為作物所不吸收的形態，而不影響施肥量和比例。同時，岩綿並不具離子交換力，因此缺乏像土壤般的緩衝能力，但易於控制肥料的成分。

由於具有很高的孔隙率，當灌水排出一部分水後，岩綿就存有一部分的水和空氣，於上層空氣的比例高，而下層則含較高比例的水。將岩綿灌滿水後讓其自然的排水時，水和空氣的比例約為65：30，作物的根不會呈過濕狀態。即使過度的灌溉，經1～2分鐘後岩綿內的孔隙之含水率仍為30～40%。灌液管理適當時岩綿內的液相／氣相比約界於65／30～50／45之範圍內，於此狀態下無論何種作物根系均很發達、生育良好。岩綿為低密度而具高孔隙率的栽培介質；依表二所示為高度15cm時岩綿行養液的滴灌，其不同高度所含的空氣和水比例變化。

表一　岩綿之化學組成（Grodan）

成　分	比例（%）	成　分	比例（%）
SiO_2	47	Na_2O	2
CaO	16	K_2O	1
Al_2O_3	14	MnO	1
MgO	10	TiO_2	1

表二　岩綿行滴灌時不同高度別的空氣和水分變化（M、Verdure）

高　度	體積%			
	孔隙率	固　相	氣　相	液　相
0 cm	96 %	4 %	2 %	94 %
5	96	4	14	82
10	96	4	58	38
15	96	4	79	17

* 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所分所長

表二和表三所示岩綿可保持相當高的水和空氣，而此保水量的90%並沒有任何抵抗就可由作物吸收。通常土壤、泥炭土或其他介質於水含量減少時，植物之水分吸收就顯得困難。其水分之吸收難易，受介質的毛細管抵抗所左右，抵抗程度以 pF 值愈高時，作物之水分吸收愈困難。岩綿於最大容水量時，與降低至15%時之 pF 值的差異，僅為 2 倍而已。只要適宜之管理，岩綿內經常含有15%以上的水分的話，植物仍很容易吸收到水分。根圈過濕的危險並不發生，通常還以供給過剩的養液來行管理。所供給的原水如含有過量的鈉或氯蓄積於岩綿、供給植物之要素量過多或過少，或岩綿內的養分間發生不平衡時，就得以過剩的灌液來沖洗使其平衡。

表三　岩綿之物理性（Sonneveld, 1980）

物理性質	
孔隙率	97.8 %
密度	60.6 gdm^{-3}
pF 0.57 之水量	90.8 %
pF 1.05 之水量	36.6 %
pF 1.52 之水量	2.2 %

岩綿係於高溫下製成，完全成爲無菌狀態。其纖維之理化性質經長期栽培仍顯示安定。以玫瑰花栽培而言，經 8 年以上之栽培並未使岩綿變形或降低含水率。而以一年生作物行 3～4 作，每作皆以蒸氣消毒，其生育和收量也並未有降低，且岩綿之消毒比土壤消毒簡易而便宜。

岩綿為構造上均勻之栽培介質，以形狀可分為板狀（Slab）和塊狀（Cube）。本文以板狀之利用行介紹，其他也有綿狀和粒狀等，可與其他介質混合或單獨利用於盆栽上或育苗上之介質。

二、裝　　置

㈠準　　備

岩綿為無菌介質、保持根圈適當的氣相和液相，因此溫室在岩綿栽培未裝置前得先以殺菌劑或燻蒸劑行消毒。為使岩綿與土壤完全隔離，床面以黑白兩面的 PE 布行覆蓋，白色面向上、黑色面向下以充分利用光線和防止雜草。

岩綿之栽培裝置首需考慮排液，通常以排液管或排液溝使過剩培養液排出。因此岩綿放置於較高的畦面上或墊於保麗龍板上。而排液溝就與栽培床平行設置，通常以二列的畦間內側排出，而不直接在通路上排液。

另得注意的是舖置 PE 布前，室內須先整平使岩綿能放置呈水平狀。為使剩餘的培養液不排於通路上，岩綿床可略為向排液溝傾斜。實際上此傾斜度可不必要，只要於通路的相反方向，將包裝岩綿的 PE 布的底部剪開，使排液沿兩栽培床間排出，並將通路略為提高，以防排液之流入即可。如果岩綿 PE 布之排液之剪開處位於傾斜部的最低角部分，則造成岩綿之最高部分培養液供給不足之現象。如果排液剪開處位於傾斜部的高部分，培養液溢出時，則岩綿剪開處以下部分形成浸水或湛液狀態，此處之培養液更新也會困難。因此，培養液自岩綿的上面到下面，能夠均勻地無抵抗的滲透是最安全的裝置方法。

㈡排　　液

排液之處理最簡單方法是將之全部吸入溫室中土壤裡。通常以畦間作成溝，由覆蓋之兩層PE布的間隙慢慢排出。如果岩綿周圍唯恐仍有積水顧慮時，挖成排水溝舖置細砂，使排液吸收。以上之方法仍無法得到有效處理時，就得將排液集在一起再排出室外，或於室內設排液桶收集之。

排液量為栽培成功與否的重要關鍵。為測定排液量，最好選適當地點3—4處行排液量測定。排液監視用的岩綿得設於易看見之位置，容器得注意足以容納排液量的大小。由灌液量和排液量比較，就可算出排液的比率。另在灌液管內設置水錶以測定全部之灌液量（圖一和圖二）。

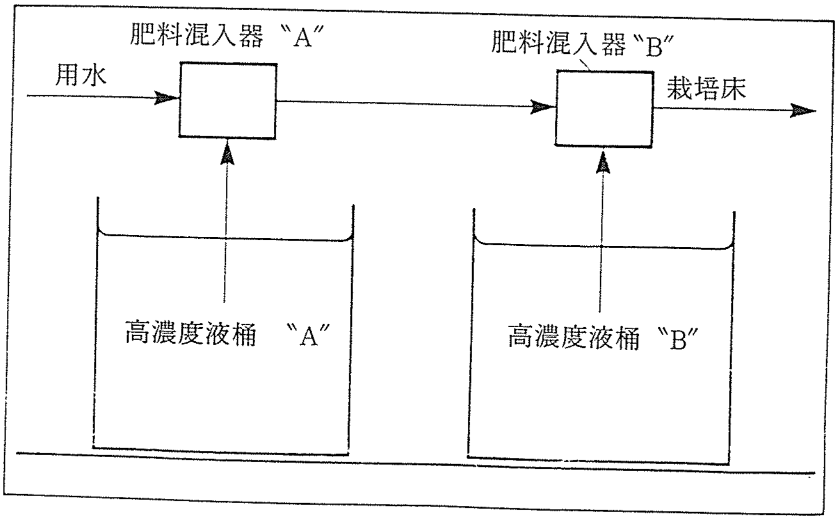
圖一　岩綿栽培之排液容器

圖二　岩綿栽培灌液之流量錶

㈢培養液稀釋裝置

小規模栽培時，只要一個養液槽即可，不必要設稀釋裝置。但是大規模栽培時，就得用自動化的稀釋控制裝置和養液桶2～3個，必要時得設EC和pH之監視系統。通常以高濃度的原液以100倍稀釋用。為避免高濃度培養液發生沈澱，將磷酸鹽和鈣鹽分成兩個原液桶，必要時另設第三個桶為pH調整用的酸液。而此酸液並非一定倍率稀釋，只於pH監視電極測定在設定範圍內必要時才添加。

目前稀釋器以置換型的混入器，利用水流使活塞的開閉，每次活塞起動時供給所預設定量的高濃度液混合。換言之，用一定流量的水與高濃度原液的量之關係乃是正確的保持一定混合比率的方法，如圖三為簡單式的二個置換型混入器稀釋裝置。

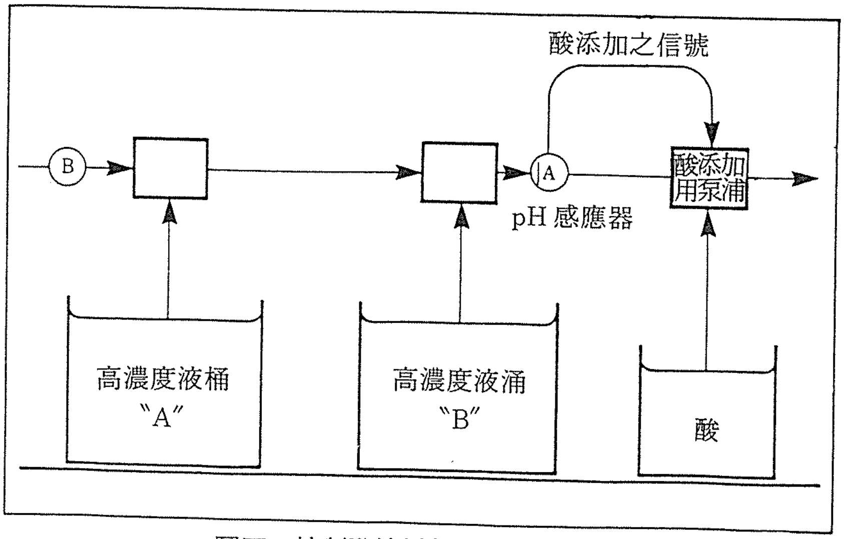


圖三　利用置換型混入器之二桶式稀釋裝置

㈣自動監視裝置

大規模之岩綿栽培時，培養液之 EC 調整係利用自動調節裝置。但對於此種精密裝備化之建立是否必要，實值得深入探討。當培養液的 EC 有變更必要時，可調整兩個高濃度液桶的各肥料要素比例，並於稀釋裝置後的主灌液管內裝 EC 電極，由 EC 錶可檢定出是否為所設定之值。如果溫室具有控制的電腦設備，也可將該監視電極連接一起，將該 EC 值同時列入測定項目內記錄。

至於 pH 之控制方面，有二種方法；一為事先測定所需的酸量，加入於高濃度液桶內的一或二桶內。另一為於稀釋裝置後主灌液管內裝 pH 電極，並另設一酸液添加桶以調節，如圖四。



圖四　控制酸液添加用泵浦之裝置

pH之監視與調節，為調整培養液上很重要的工作。如果培養液之pH變化超出所設定之範圍外，作物馬上引起障害，尤其是此監控系統遇有失靈使酸添加量過多時，作物就有於短時間內枯死之危險。為防止此項的發生，就得加裝一台監視用之pH電極，當培養液之pH於設定值範圍外時，就會有警報響聲。但仍要知道的是並非此第二監視感應器就可保證完全沒有發生故障。

㈤電腦控制

溫帶地區較大規模的溫室栽培通常設有電腦，做為溫室之氣溫、濕度、地溫、通氣等的監控系統。將岩綿栽培的灌液用主管設置之pH、EC電極，連接於環境控制電腦。同時也將排液之pH、EC監視的電極也連接起來。此排液之資料與岩綿內培養液之值雖然有差異，但是可做岩綿系統的是否正常運作的追踪手段。利用電腦將灌液的頻度和量做記錄，同時將岩綿之排液量也以感應器連接記錄排液量，可做為灌液系統的控制資料。

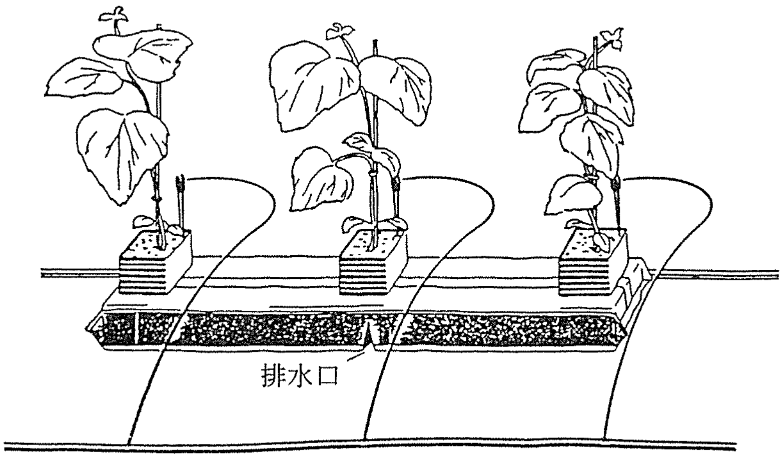
環境控制電腦中加入有關培養液項目的控制，目前只限於培養液中的pH和EC，如果能將所有的肥料要素以個別的監控的話，當是再理想不過的。事實上，多量要素的監控當有實現的可能。以離子測定法偵測培養液中特定的離子濃度已可行了，硝酸、鉀、鈉、氯、鈣等之電極測定器業已上市，其他離子的測定器也在開發中。

三、栽培方式

主要栽培方式有下列二種：

㈠標準式（Standard system）或稱岩綿袋法

栽培用岩綿以塑膠布包起來，溫室整平後以2%福爾馬林液消毒，地面以0.07mm 白色塑膠布覆蓋，將岩綿袋（通常番茄、甜椒用岩綿袋長、寬、高為90×15×7.5 cm，胡瓜用者為90×20×7.5 cm）排放於覆蓋塑膠布上。將育苗之岩綿塊（Rockwool cube）定植於岩綿袋上（番茄、甜椒育苗用之岩綿塊大小為75×75×65mm，胡瓜為100×100×65mm），培養液以滴灌（drip），每株各置1～3滴管。多餘之滴灌培養液由岩綿袋下面之塑膠布剪裂縫排出（非循環式），如圖五。如果排水較差之地面，則需埋設排水管。此栽培方式之適用作物包括胡瓜、番茄、甜椒、茄子等。

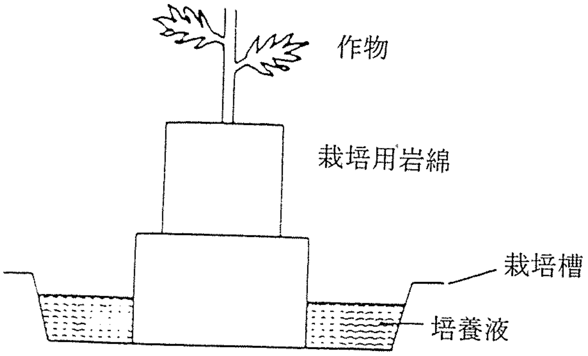


圖五　標準式岩綿栽培法

㈡栽培槽式（Gutter system, Gutter strip system, Gutter cube system）：

以保麗樹脂等製成的栽培槽，栽培槽放於地面，槽內放置岩綿條（Strips）或岩綿塊（Cubes）。岩綿條之長、寬、高為90×10×7.5 cm 或90×10×10 cm。岩綿塊之長、寬、高為10×15×10 cm，或15×15×7.5 cm，或15×15×10 cm。槽內調節或經常保持 1～2 公分深度之培養液。該栽培方式培養液可分成滯水式（Stationary water 或稱非循環式）和循環式（Circulating water）。循環式並非養液經常流動，而為間斷性滴灌，每株灌溉方法與標準式相同，同時有少量養液排出，所排之培養液可收集於供液池內繼續使用（圖六）。

不同栽培方式的收穫量比較，依荷蘭 Sonneveld 等的試驗結果顯示以標準式較高，標準式比栽培槽式約高 7%。可能栽培槽式的岩綿浸在養液中，氧氣之供給較不足的緣故。



圖六　槽式岩綿栽培法

四、培養液

㈠水　　質

岩綿栽培成功之必須條件為良好的水質。並且每日得供給足夠的培養液量，以洋香瓜為例，於夏季生長最旺盛時，其最大的消耗養液量每日每株達 3 公升。每十公畝（分地）以2,000株計算，每日就需要 6 公噸，通常十公畝地得準備供應150公噸的水。由於岩綿與土壤不同，如果用水中含有作物不吸收的鈉或氯時，易蓄積於岩綿內，使岩綿內培養液 EC 值提高，抑制其生育，嚴重時培養液變成不平衡，或者鈉的過度吸收，妨礙鉀、鈣、鎂等之吸收。所以用水水質得要先分析成分。其分析項目如下：

(1)pH 和 EC。

(2)NO_3-N、P、K、Ca、Mg、Na、Cl、SO_4、Fe、Cu、Zn、Mn、B、Mo、HCO_3。

如果 EC 值為0.2mS／cm 以下、pH5.5～6.5之間使用時大致不會有問題。用水中鈉和氯之濃度必需都在30～40 ppm 以下為安全。另外用水中含有相當多的鈣、鎂或硫酸根時，得以其含濃度考慮在內來修正培養液的組成。遇含有重金屬時，其濃度在所需濃度以下時，當將其濃度考慮在內施肥，如果是超過此在必要濃度以上時，就會發生重金屬的過剩毒害的危險性。

其次水質上的酸鹼性，含有碳酸、重碳酸的問題。岩綿栽培為使 pH 保持適宜範圍，可用酸液的添加來調整。碳酸、重碳酸的含量低於50 ppm 以下時，添加少許酸或不添加也可。如果含量高時，於高濃度原液內添加酸，使其降為50 ppm 以下是必要的。酸的添加可以硝酸和磷酸來中和，因其各為硝酸態氮素源和磷源的加入，培養液的組成得隨變化而修正之。

用水的 pH 過高時易引起磷酸、鐵、錳沈澱於岩綿內使作物無法吸收，如 pH 過低時，根易受障害影響水和養分之吸收。通常岩綿栽培於第一作時，其 pH 有略偏高傾向，再使用後就不致發生。岩綿內經常保持 pH5.0〜6.0適宜範圍是需要的。

㈡灌液裝置及其控制

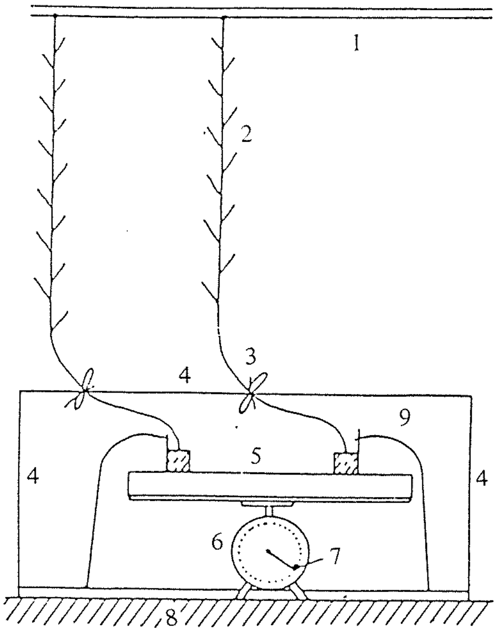
岩綿之灌液方式已如上述，可分為循環式和滴灌式兩種。循環式為將供給到栽培床所剩下的培養液收集於集液槽，再以泵浦重複灌溉使用。滴灌式則以微滴灌方式，將所剩餘排液流出不再使用。

循環式之培養液反覆灌溉後，岩綿內之培養液量較為均勻，但其培養液之濃度經一段時間循環後，其組成發生變化，有時所供給之培養液平衡性降低。對於循環而重覆使用之培養液，一旦發生根部傳染性病害，則造成病原菌的快速傳播。滴灌式培養液灌注量以保持岩綿全部有充分之浸透液為前提，多餘者排出，因此其控制技術比起循環式要高。且培養液滴灌係以岩綿床個別為單位，可避免循環式引起病原菌之傳播發生，而其裝置費用也較循環式為便宜。

灌液之控制裝置通常可分為二種，一為定時器（Timer）控制，一為岩綿水分的直接控制。定時器控制法為24小時內行時間性間隔的設定灌液方法。其設定的時間、量和次數目前常以經驗等行供給。一般於每日中午前後消耗量大時每隔約30分鐘一次，於夜間則減少次數。

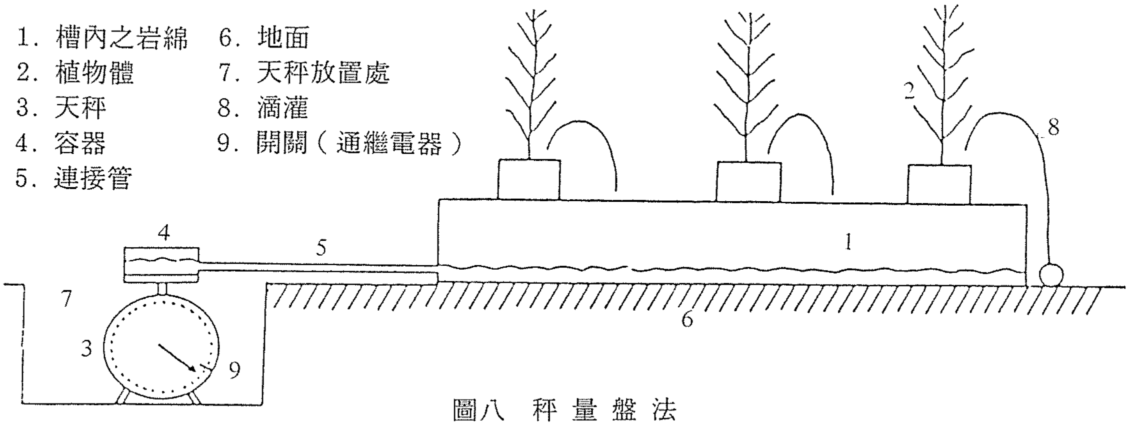
岩綿中所含的水分感應以直接測定方法較為普遍採用。感應器有二種；一為岩綿重量之測定，重量減少至所設定以下時開始灌液。另一種為水位感應器測定，於岩綿之側邊，設置容器測定其水位，低於所設定水位以下時行灌液。

重量測定法限以番茄、豆類、胡瓜等作物，適合於其上部分可固定而掛起來的。對於甜椒、茄子、花卉類需以岩綿來支撐其重量者，則不適宜。重量測定法於所設定值以下時就自動起動供液的開關（圖七）。並且隨植株的大小，所設定值要隨時修正。設定值還要考慮一定比例的過剩供液率在內。作物體重量的測定通常是較為困難的，但是可以容器來收集排液量行測定後而設定，如圖八。



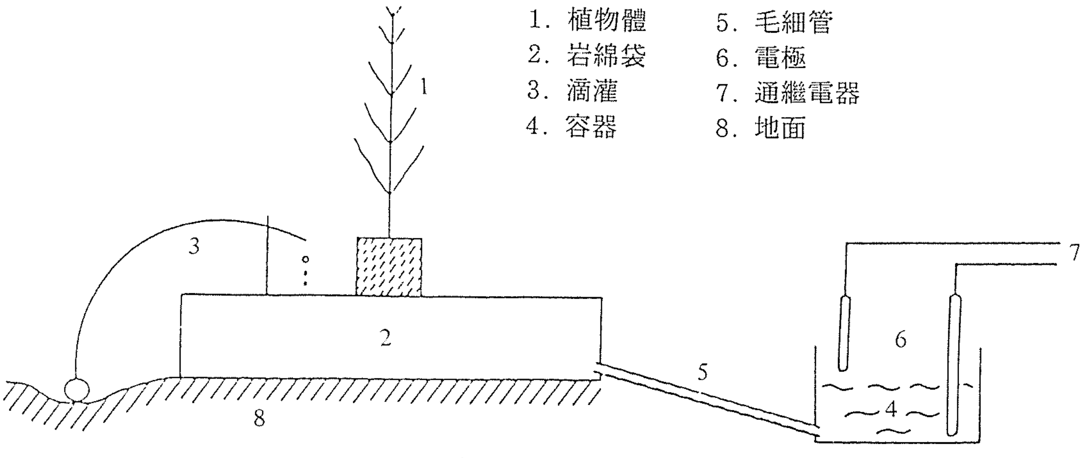
1. 支柱
2. 植物體
3. 固定的莖
4. 固定用棒
5. 岩綿棒
6. 天秤
7. 開關（通繼電器）
8. 地面
9. 滴灌

圖七 天 秤 法



圖八 秤 量 盤 法

水位感應器方法，於岩綿側邊設一小容器測定其水位。此感應器有上限和下限的感應桿，於下限之水位時就發出灌液信號，達到上限水位時則發出停止灌液信號（圖九）。此系統為目前最廣泛使用者。

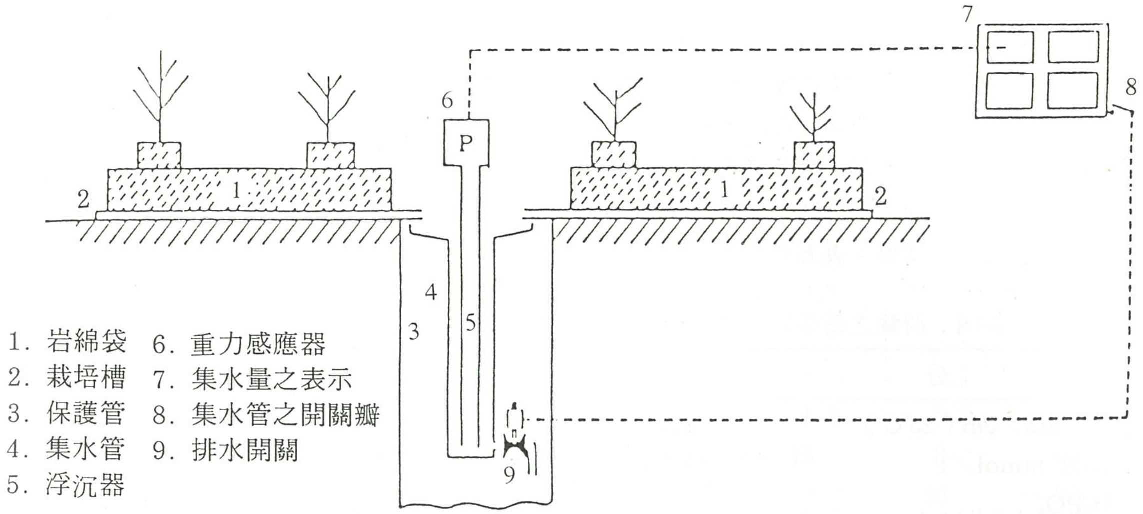


圖九 水 位 感 應 法

此排液測定的控制裝置，配合電腦控制使用是需要的。岩綿的排液收集於小容器內，於所設定的水位前繼續灌液。灌液停止時，所裝之電磁閥打開使容器的培養液全部排出後，再準備為下次的供液用。圖十為排水浮沉感應法，此方法可控制每次的灌液量，而灌液之頻度可藉日射量或定時器或手動來設定。此種自動灌液控制與電腦之連接利用，然後依所建立資料來修正灌液計畫，可減少水和肥料的浪費。

㈢灌液計畫

灌液通常以岩綿保水力減少 5～10%時，就行培養液之灌溉。具體而言，10 公升之岩綿約有 8 公升之保水力，栽培中之岩綿內培養液量減少400～800 ml 時就開始灌液。如果一個岩綿內具有五個滴管的話，每個滴管就灌80～160 ml 養液量。實際上以每日之灌液次數為20～30次，而每次之灌液量以少量較好。此種每次的培養液量少而一定，以灌液次數來調節灌液量的方法，比以灌液次數一定而調節灌液量的方法為好。



圖十　排水浮沉感應法

至於岩綿栽培以滴管為單位，每次之灌液量設定後，每日要灌幾次，何時灌溉，通常是選具代表之岩綿設置感應器，或以累積日射量行自動控制，或以年平均之氣象資料行手動控制等。然而自動之控制時，通常以溫室內設日射感應器，累積日射量於達到設定的標準時發出灌液之信號，由各滴管灌一定量的培養液。得要注意的是栽培者仍要調查日射量和培養液之關係，並隨時檢查是否有正常的排液量，必要時再修正其灌液計畫。

另外有一種特殊控制方法是以適當量的排液來決定灌液。因為岩綿內之鉀、氮、磷、錳容易為根所吸收，使岩綿內之該類離子濃度降低。而硫酸根、鈉之吸收較慢，容易使岩綿內形成高濃度。如果過剩之排液，則使濃度降低者得以更新補充，而有累積之濃度也因排液而更新，使不要的離子予以洗掉。如此，以適當之排液可使根圈養分保持其平衡性。通常以灌液量的10%為排液的話，可使岩綿之肥料組成保持平衡。換言之，岩綿床如果500 ml培養液不足時，只要供給550 ml就可。實際上也有增加為15～20%過剩的灌液量來設定的。如果遇有所供之培養液和岩綿培養液要素分析值的差異很大時，不妨增加到30～35%之過剩供液來調節岩綿內培養液之平衡是必要的。

圖十一　岩綿內培養液之吸液器

㈣培養液之組成、濃度的目標值與適宜範圍

有關岩綿栽培營養狀態的檢查可分為三項；一為供用培養液的分析，做為作物是否有適當的培養液供給。二為岩綿內培養液的分析，以得知根圈的營養狀態。三為植物體的分析，以得知植物自岩綿內吸收何種要素。此三種之檢查可瞭解作物實際上的有效營養狀況，當然以岩綿內培養液的分析是最為重要。於表四和表六為荷蘭主要作物之供用培養液之組成與濃度，此為經由試驗和實際栽培所得之結果。表五和表七為岩綿內的指標值。

表四 荷蘭之蔬菜岩綿栽培的培養液組成（Sonneveld and Krey, 1986）

成分	胡瓜	番茄	甜椒	茄子
EC mS／cm（25℃）	2.1	2.3	1.7	1.7
NO_3^- mmol／1	15.75	13.5	12.25	12.0
$H_2PO_4^-$	1.50	2.0	1.25	1.5
SO_4^{--}	1.25	3.5	1.25	1.0
NH_4^+	0.5	0.5	0.25	0.5
K^+	8.0	9.5	6.0	6.0
Ca^{++}	4.25	4.75	3.75	3.0
Mg^{++}	1.375	1.5	1.125	1.5
Fe μmol／1	15	15	10	10
Mn	10	10	10	10
Zn	5	5	4	4
B	25	25	25	20
Cu	0.75	0.75	0.5	0.5
Mo	0.5	0.5	0.5	0.5

表五 荷蘭之蔬菜栽培岩綿內的指標值（Sonneveld and Krey, 1986）

成分	胡瓜	番茄	甜椒	茄子
EC mS／cm（25℃）	3.0	3.0	2.5	2.5
NO_3^- mmol／1	18.0	16.0	14.0	15.0
$H_2PO_4^-$	1.5	1.5	1.0	1.0
SO_4^{--}	3.5	4.5	2.5	2.5
NH_4^+	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K^+	8.0	7.0	5.0	5.0
Ca^{++}	6.5	7.0	5.0	5.0
Mg^{++}	3.0	3.0	2.5	3.5
Fe μmol／1	15	15	15	15
Mn	7	7	7	7
Zn	7	7	5	5
B	60	50	50	50
Cu	0.8	0.7	0.6	0.6
Mo	—	—	—	—

表六　荷蘭之花卉岩綿栽培的培養液組成

成　分	康乃馨	玫瑰花	非洲菊	火鶴花	虎頭蘭	菊花*
EC mS／cm（25℃）	2.2	1.8	1.8	1.1	1.0	1.4
NO_3^- mmol／1	15.0	13.0	13.0	6.5	3.8	10.5
$H_2PO_4^-$	1.75	1.75	1.5	1.0	1.0	1.0
SO_4^{--}	1.5	1.50	1.25	1.5	2.3	1.0
NH_4^+	0.5	0.75	0.5	0.5	1.0	0.5
K^+	7.25	6.0	6.5	4.5	3.2	5.0
Ca^{++}	4.75	4.5	4.0	1.75	1.7	3.0
Mg^{++}	1.25	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0
Fe μmol／1	25	25	35	15	8	60
Mn	10	5	5	3	20	20
Zn	4	3.5	4	3	4	3
B	25	20	30	20	20	20
Cu	0.75	0.75	0.75	0.5	0.4	0.5
Mo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5

* 循環式水耕

表七　荷蘭之花卉栽培岩綿內的指標值

成　分	康乃馨	玫瑰花	非洲菊	火鶴花	虎頭蘭	菊花*
EC mS／cm（25℃）	2.5	2.2	2.2	1.3	1.0	1.7
NO_3^- mmol／1	14.0	12.5	13.0	6.0	2.8	10.0
$H_2PO_4^-$	1.25	1.5	1.25	0.75	0.7	0.75
SO_4^{--}	3	3.0	3.0	2.0	2.8	2.0
NH_4^+	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K^+	7.0	6.0	6.0	3.5	2.8	5.0
Ca^{++}	5.0	5.0	5.0	2.25	2.5	3.5
Mg^{++}	2.25	2.0	2.0	1.5	1.2	1.5
Fe μmol／1	20	25	40	15	8	80
Mn	5	3	3	2	8	10
Zn	5	3.5	5	4	4	5
B	50	20	40	40	20	20
Cu	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0
Mo	—	—	—	—	—	—

* 循環式水耕

被認為是適宜的培養液組成，經栽培後常要再修正。此修正大部分依岩綿內培養液的分析為根據。因為岩綿內雖然不斷的灌液，但是某要素如磷、鉀、錳、硝酸態氮易被吸收而使其濃度降低，而鈣、鎂、硫、鐵、銅、鋅吸收較慢者，於岩綿內就常因過剩施用而濃度增加。藉此等資料做為下作組成之根據，累積後逐漸修正。因此為瞭解作物之營養狀態，定期行岩綿內培養液的分析是重要的工作。並與所供給之培養液組成比較岩綿內是如何的變化。由此訂出岩綿內各要素之

目標濃度，並依所設定容許範圍，再修正所供的培養液。英國根據荷蘭推荐的組成，為適合自己的環境將番茄的目標濃度和適宜濃度修正列如表八供參考。

㈤培養液之配製

以表八之番茄培養液為例，如果有大的養液桶時，可以適當的水量將所有成分加入溶解施用。但是實際上此方法並不普遍應用。因為容量很大的養液槽不容易建造，尤其是夏季水分消耗量多時更困難。還有所有成分完全溶解於大量的水中，其混合的手續也很不容易。因此，配製成濃厚的原液，再經稀釋裝置稀釋後施用是必要的。通常以培養液的100倍濃度使用，當然也可用其他稀釋比例。配製成高濃度的原液時為避免有磷酸鈣和硫酸鈣之沈澱發生，將培養液分成 A 液和 B 液。常被應用的方法如表九。

表八　英國番茄岩綿栽培之標準培養液

肥料要素	供液用濃度（ppm）	岩綿內之目標濃度（ppm）	適宜濃度範圍（ppm）
NO_3^--N	143	143	110—180
NH_4^+-N	7	5	
P	40	30	20— 40
K	275	210	140—275
Ca	175	220	175—260
Mg	30	60	30— 90
Fe	0.55	0.70	0.40—1.10
Cu	0.03	0.04	0.03—0.06
Zn	0.25	0.30	0.25—0.60
Mn	0.55	0.40	0.20—0.80
B	0.30	0.45	0.30—0.60

表九　高濃度原液的肥料鹽

A　液	B　液
硝酸（半量）	硝酸（半量）
硝酸鈣	磷酸
硝酸鉀（半量）	硝酸鉀（半量）
硝酸銨	硫酸鉀
蟄形鐵	硫酸鎂
	磷酸一鉀（或磷酸一銨）
	微量要素

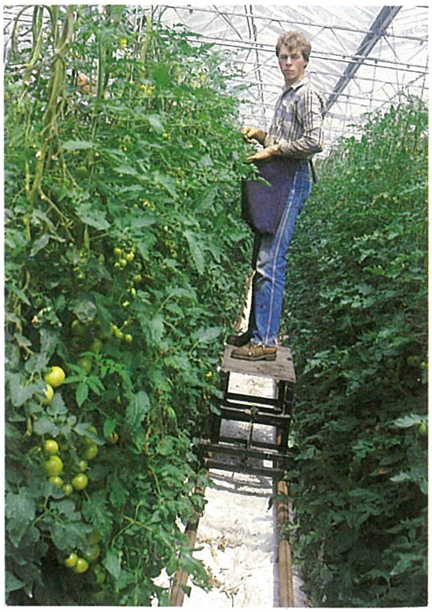
㈥培養液之檢查

每日檢查：生產者自行檢查供用培養液與岩綿內培養液之 pH 和 EC 值。

每隔二週檢查：供用培養液和岩綿內培養液的多量要素分析。

每隔一個月檢查：供用培養液與岩綿內培養液之全部主要素的分析。

每二週檢查與一個月之檢查，最好能由廠商之服務中心或試驗研究機關進行之。



圖十二　荷蘭之番茄岩綿栽培

圖十三　荷蘭之康乃馨岩綿栽培

圖十四　日本之番茄岩綿栽培

圖十五　日本之玫瑰花岩綿栽培

圖十六　鳳山熱帶園藝試驗分所之洋香瓜岩綿栽培

附表一 m mol／ℓ與 ppm 濃度換算表

要素	1 m mol／ℓ	要素	1 m mol／ℓ
NO_3-N	14 ppm	Fe	0.056
NH_4-N	14	Cu	0.064
P	31	Zn	0.065
K	39	Mn	0.055
Ca	40	B	0.011
Mg	24	Mo	0.096
Na	23		
Cl	35.5		
SO_4-S	32		
HCO_3	61		

註：1 m mol／ℓ＝100 μ mol／ℓ

參考文獻

1.沈再發 1988 荷蘭及英國養液栽培之概況 中國園藝34(1)：13-26。

2.日本施設園藝協會 1988 施設園藝におけるロックウール栽培の手引。

3.池田英男・篠原溫譯 1989 野菜、花卉のロックウール栽培 誠文堂新光社 日本東京。

4.Sonneveld, C and W. H. Welles 1984. Growing vegetables in substrates in the Netherlands. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. p.613-632.

5.Sonneveld, C. and C. de Kery 1986. Nutrient solution for vegetables and flowers growing in water or substrate. Voeding-soplossingen glastuinbow No.8.

6.Van Os E. A. 1982. Dutch developments in soilless culture. Outlook on Agriculture. 11(4)：165-171.

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　47～52，1990

岩　綿　或　NFT？

許 仁 宏*譯

在溫帶地區想要種整年都可採收的番茄，一定要考慮無土栽培。岩綿和 NFT 是兩大主要系統。英國在1984年 NFT 和岩綿種植面積各為 80 和 85 英畝；1985年NFT 降為 78 英畝而岩綿則增加至 213 英畝。

本文介紹兩系統的各項成本，以供農友參考。兩種系統的種植密度為每英畝10,500株，於10月到11月間定植。兩系統的肥料和用水量各由三位農民提供。表一就是兩系統生產成本細部比較。兩者的肥料與用水量差異很大，因為 NFT 是封閉系統，水份、養份不會流失，而岩綿為開放系統，水、養份會不斷流失。岩綿的水費為 NFT 的2.2倍，而肥料費用岩綿比較 NFT 多 75%。表二是 NFT 和岩綿兩系統 5 年合計成本比較。無架 NFT 和每年更新的岩綿成本價差可達28,000英磅。如果只看設備費以有架 NFT 花費最多，但若把經營費用算進去，差異就沒有那麼大，每英畝有架 NFT 只比岩綿多 2,400英磅。此差異甚至可以因有架 NFT 不必常常注意地面斜度而節省下來。無架 NFT 和兩種岩綿栽種法都必須常常注意地面斜度。

其他重要成本因素：

栽培園原有的設施會影響以後的決定和成本：

- 地面傾斜度：地面坡度為 1% 或稍多是 NFT 的理想坡度。岩綿則以少於 1%為宜。有架 NFT 則無需考慮此因素。
- 排水：排水對岩綿系統很重要。不良的排水可能造成廢水回流進入栽培包，有時會造成污染，所以土壤排水力很重要。
- 灌溉系統：如果原來已有灌溉系統，採用岩綿可能較容易，但過濾系統要好以免阻塞。
- 水質：塩分高的水較適於岩綿，因為流失快。

其他要考慮的有該系統的參考資料與可能得到的協助是否足夠。而環保上岩綿的丟棄，也必須考慮，因為岩綿是無法燃燒或被生物分解的。

岩綿的潛在優點為它的構造可以使根群通氣良好，而可能有較大而耐性較高的根群。但若兩年更新，則第二年的孔隙會較小。其次，單位植株供水量的控制也較 NFT 好。

水量計算

NFT 最顯著的優點在於不必計算供水量，因為水量一直循環定量供應的。此項優點也可被利用於增加單位面積種植密度上。由於不必擔心阻塞問題，也節省不少管理時間。

NFT 因其封閉和培養液循環系統而在病害控制上常受質疑。但事實上病害易生且不易控制的想法並未被證明過。相反的，從另一個角度來看，此系統正因為封閉性高而不易受感染。

兩系統的番茄產量和品質是相當的，為什麼岩綿較 NFT 流行廣呢？因為番茄無土栽培新手常受胡瓜種植者的影響而採用岩綿系統。胡瓜因根系大，需氧量較多，栽種上以岩綿較 NFT 易成功。另外，岩綿因為有丹麥製造公司強大的宣傳攻勢，而較為農友所熟知採用。反觀 NFT 由於是政府機構所發展而且沒像私人企業大規模推廣，以致採用的人較少。但不管理由是什麼，以下的成本資料可提供農友長遠的收益考量。（譯自英國 Grower 雜誌1986年 2 月份 33—36 頁）

* 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所副研究員

表一 岩綿與NFT成本剖析比較（單位：英磅）

岩綿

設備費		
監控系統		
pH／劑量單位／酸液注加器		2,600.00
pH 控制器		300.00
塑膠桶熱交換器、混合閥馬達		
電熱控制		2,401.92
過濾逆洗裝置		475.00
灌溉控制（10,500滴管）		2,200.00
管路＋3,000瓦馬達		1,275.00
保麗龍板（10呎×1呎×1吋）		1,074.48
全　部		10,326.40
經營成本（岩綿每年更新）		
栽種包		
5250（900×150×75）		
@0.78	4,095.00	
繁殖塊		
12,075（36×36×40）	119.54	
10,800（75×75×100）	792.72	
	5,007.27	
－15%折扣		4,256.17
黑／白舖地塑膠布		
100微米厚31.8英磅／捲		445.20
肥料和酸液		2,700.00
水		
130加侖／株／季		
1,365,000加侖（6,024.5米³）		1,240.90
電		
3仟瓦馬達，平均每天用160分		126.00
鐘養液分析		
兩週一次		250.00
全　部		9,018.27
經營成本（岩綿隔年更新）		
栽種包		
5250包，每包0.11英磅		577.50
繁殖塊		
12,075（36×36×40）	119.54	
10,800（75×75×100）	792.72	
	912.26	
5%折扣		866.65
舖地塑膠布		445.20
肥料和酸液		2,700.00
水		1,240.90
電		126.00
養液分析		250.00
全　部		6,206.25

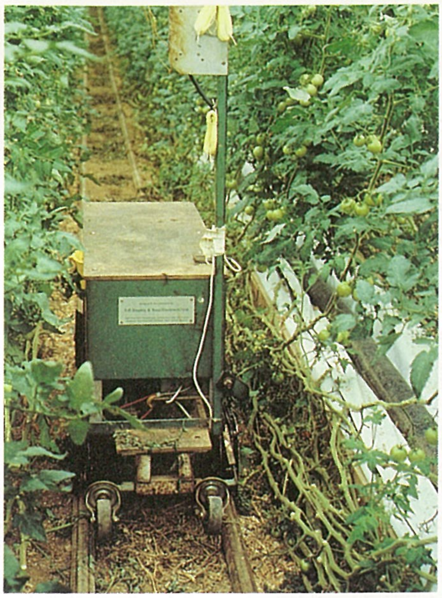
NFT

設備費（有架）		
監控系統		
pH控制器，CF劑量單位／溫度感應器		2,187.00
600加侖槽、電磁閥馬達		870.00
馬達、養液槽、管路		950.00
供水管		857.42
回流管		870.62
栽培架與盤		11,520.00
全　部		17,605.04
設備費（無架）		
同有架	17,605.04	
加保麗龍板	1,074.48	
（10呎×1呎×1吋）		
減栽培架與盤	11,520	
全　部		7,459.52
經營費（有架）		
岩綿繁殖塊		
12,075（36×36×40）	119.54	
10,800（75×75×100）	792.72	
	912.26	
5%折扣		866.65
黑／白塑膠布		
150微米厚×700毫米寬×150米長		
38捲@16.56		629.28
毛細水管		
100米×29毫米		124.80
肥料與酸液		1,550.00
水		
620,000加侖（2,818米³）		563.60
電		
1.5仟瓦馬達		291.90
養液分析		
每三週一次		162.50
全　部		4,188.73
經營費（無架）		
同有架		4,188.73
加黑白舖地塑膠布		445.20
全　部		4,633.93

NFT 與岩綿兩系統 5 年合計成本比較（單位：英磅）

	NFT		岩綿	
	有架	無架	每年更新	隔年更新
第一年				
設備	17,605.04	7,159.52	10,326.40	10,326.40
經營	4,188.73	4,633.93	9,018.27	9,018.27
第一年總花費	21,793.77	11,793.45	19,344.67	19,344.67
第二年加 6%通貨膨漲率	4,440.05	4,911.96	9,559.36	6,578.62
第三年加 6%通貨膨漲率	4,706.45	5,206.68	10,132.93	10,132.93
第四年加 6%通貨膨漲率	4,988.84	5,519.08	10,740.90	7,391.74
第五年加 6%通貨膨漲率	5,288.16	5,850.22	11,385.36	11,385.36
五年總花費	41,217.27	33,281.39	61,163.22	54,833.32

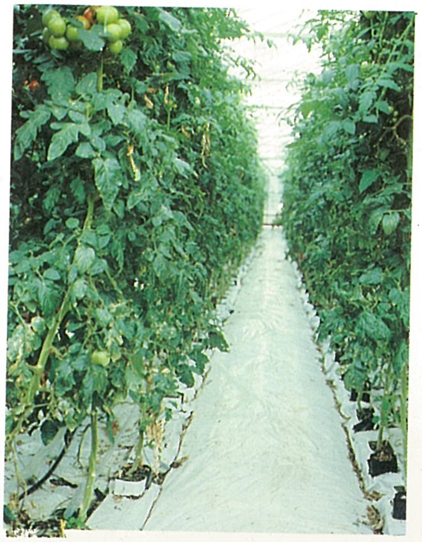
設施栽培新知



1 | 3
2 |

1. Spidex 為防治蜂類的生物防治劑，內裝消毒過的稻麥殼和食蜂昆蟲。使用時只要灑在葉面上即可。
2. 黏蟲紙，使用時把頂部圓孔套在葉柄即可。
3. 番茄 NFT 果農使用有軌（也有無軌的）電動車作業，以節省體力。

英國 Van Heyningen Brother LTD 公司為一利用岩綿栽種番茄的大公司。



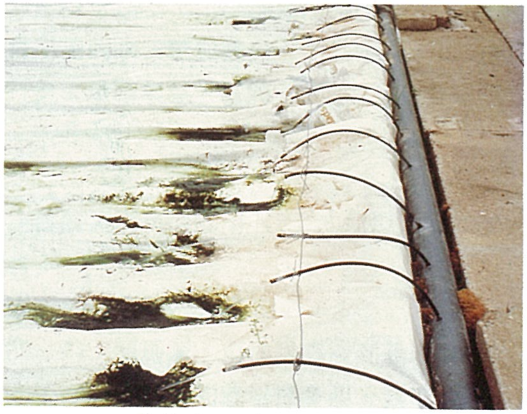
1	2
3	4
5	6

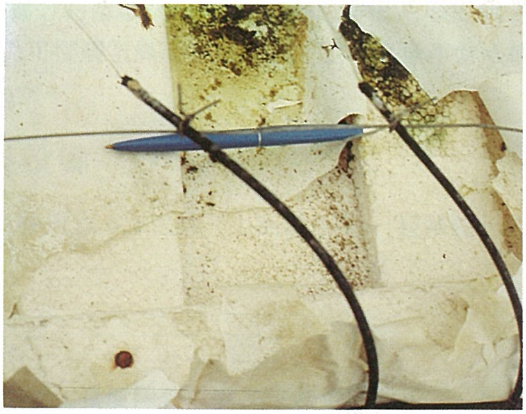
1.連棟玻璃溫室，1987 該公司種植面積為 32 公頃，產品約 90% 送到超級市場。
2.岩棉栽培的胡瓜。
3.岩棉栽培的番茄，株距約為 45 公分。
4.番茄無限型生長，其莖纏繞在基部，以減低株高。
5.間作。第一作在 10 月末播種，12 月栽植，2 月末開始收至 4 月種第二作，六月第一作結束後第二作正好開始採收。
6.每公頃產量約為 150公噸／公頃或 37.5 公斤／平方公尺，採收後清洗。

英國 Van Heyningen Brother LTD 公司為一利用岩綿栽種番茄的大公司。

7.分級包裝後準備送往超級市場。

簡易 NFT 栽培方法介紹　英國一戶 NFT 農家以很節省而簡單的設施種植萵苣。

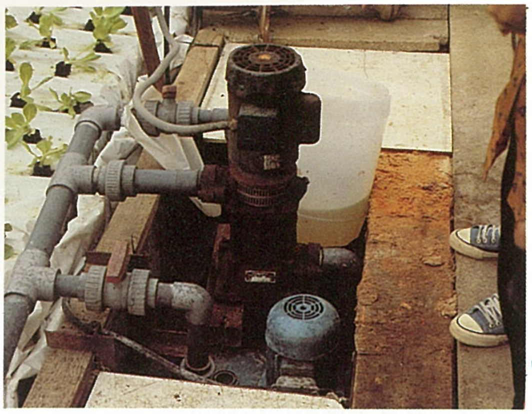




1	2
3	4

1.萵苣苗在地上部約 10 公分左右種植。苗由專業的苗商供給，以 Peat 為栽培介質。
2.玻璃設施內萵苣栽培情形。左邊已達採收階段，右中則栽植不久。近處為一工作車，沒有走道以節省空間。車上置苗箱。
3.養液灌溉系統，簡單而直接。
4.塑膠布下是保麗龍，藉著黏合凹起而形成水道。

簡易 NFT 栽培方法介紹　英國一戶 NFT 農家以很節省而簡單的設施種植萵苣。



5	6
7	

5. 養液循環所用的馬達。
6. 成熟的萵苣。
7. 採收後長出新芽。

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　53～60，1990

NFT 栽培簡介

許　仁　宏*譯

薄膜養液栽培技術（nutrient film technique，簡稱 NFT）是60年代後期英國溫室作物研究所（Glasshouse Crops Research Institute，譯註：現已歸併為英國園藝研究所的一部份）所發展出來的一種特殊的無土栽培方式。經過25年的發展，現在 NFT 已經實用化並被世界上許多國家使用在經濟栽培上。它的優缺點為：

1.優　　點：

(1)可使用現代化的自動儀器與電腦設備，節省人力。

(2)提供根部較好的生育環境，如可調節根溫等。

(3)節省用水，簡化澆水，不必每天衡量作物需水量，供水可為連續性或間斷式。

(4)養分供應可較均衡而且適合各生育階段。肥料經由養液提供，省工。

(5)不必挑選土壤，沒有土壤栽培的病蟲害、塩害、土壤結構不良而排水不易等問題。不必輪作或燻蒸土壤。

(6)每期作間可以沒有間隔，全年可生產。

(7)可採高密度栽培。

(8)試驗上的有利工具。

2.缺　　點：

(1)技術層面高，農民需有專業知識。

(2)根部疾病傳染快。

(3)初期成本高。

(4)不具土壤的緩衝力。

NFT 的基本原理為利用很淺而含有植物所需養分的循環水流經完全裸露的根系而提供植物生育所需的水、氧與養分。由於水淺，部分根系仍可接觸空氣而不致缺氧，也不必像平常水耕一樣打氣來供應氧氣。茲將 NFT 的各項要點簡介如次。

配置與設備

目前英國典型商用 NFT 的配置大致如圖一。普通以 0.4 公頃（1 英畝）為一個單位，設備包含：

(1)一個接收槽內裝養液。

(2)一到二個馬達，可抽送養液到栽培槽上端。

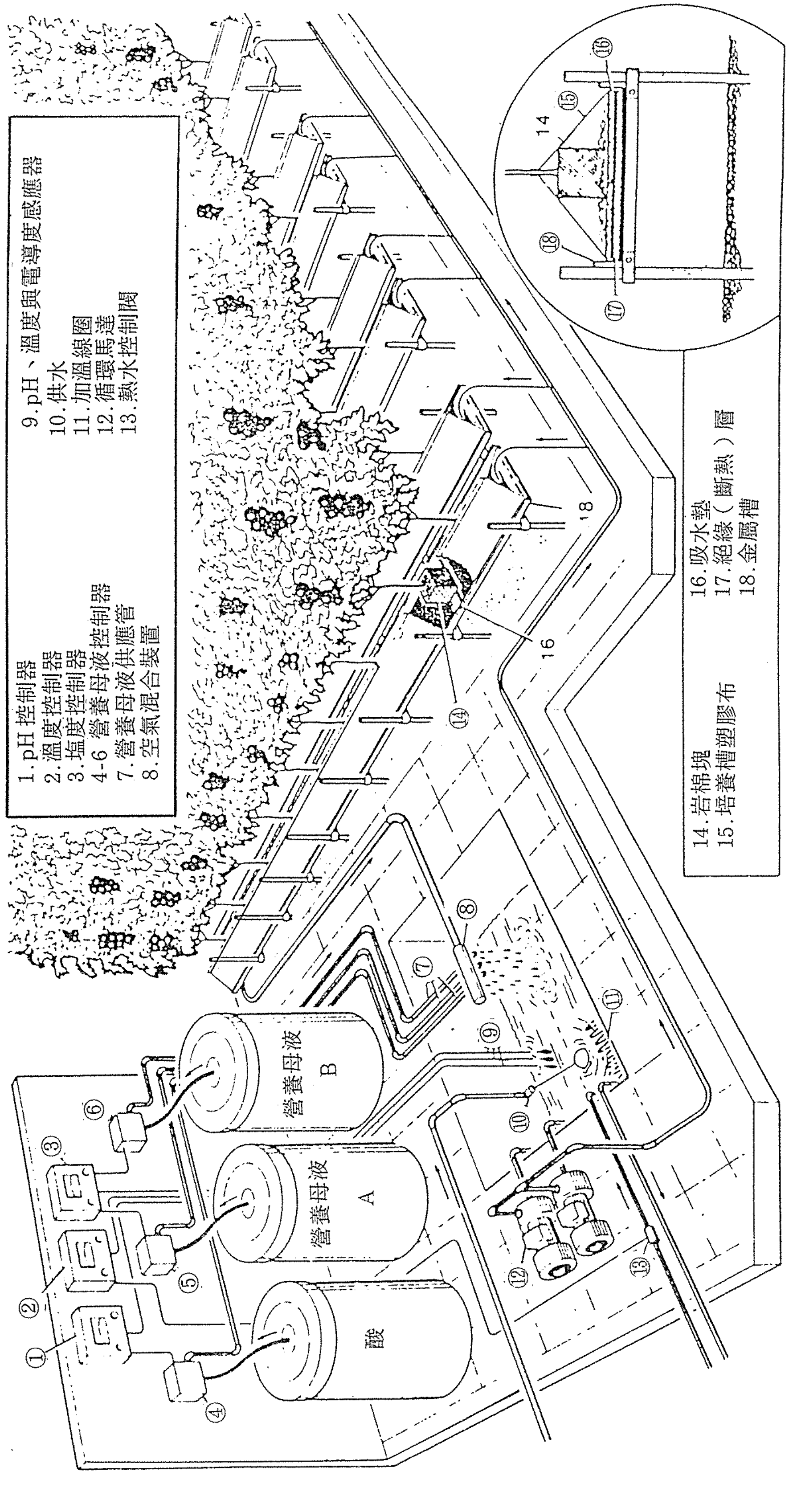
(3)平行而具斜度的栽培槽多個，栽培槽內種植作物，養液隨著坡度往下流至回收管。

(4)回收管回收從培養槽流出的養液並送回接收桶。

(5)監控系統負責維持養液濃度、pH 值、水位與溫度。

---

* 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所副研究員


1.pH控制器
2.溫度控制器
3.塩度控制器
4-6 營養母液控制器
7.營養母液供應管
8.空氣混合裝置
9.pH、溫度與電導度感應器
10.供水
11.加溫線圈
12.循環馬達
13.熱水控制閥
14.岩棉塊
15.培養槽塑膠布
16.吸水墊
17.絕緣(斷熱)層
18.金屬槽
營養母液 B
營養母液 A
酸

圖一 NFT系統圖說

1.水　　質

未種植前分析水質很重要，尤其是自己挖井採泉的農戶。因為水源不同（即使是自來水）其含養分的差異可能很大，而且一年中也可能有變動。分析項目包含 pH、電導度、硝酸塩、總碳酸以及各項必要無機元素。然後要檢查的是上述所分析的各項元素是否以離子態呈平衡狀態（即相同濃度的陰陽離子，以 equivelents 表示）。如果兩者間有相當大的差異，則必須查看是否有其他元素汚染。硬水（高鈣、鎂）需較多的酸（硝酸或磷酸）來降低水的 pH 值。調節 pH 值所用的氮和磷必須從養液中扣除。塩害問題，尤其是高量的鈉和氯會經由供水而影響作物產量。

另外，由於 NFT 栽培是個封閉的系統，由栽培中產生的塩類蓄積問題也必須注意。根據統計，一個典型 0.4 公頃種 12,000 株番茄的栽培園，在一個夏季晴天可消耗 16,000 公升的水。由於這種規模的栽植園的蓄水槽容量大約為 15,000 公升，所以水可以說是一天一換。水中未經植物吸收的離子，如硫酸塩、鈉和氯會迅速累積。如果不排掉的話，在一週內其濃度就會變成原來的數倍。因此養液必須在這些元素濃度達到毒害前更換。有些農民故意讓 NFT 系統產生滲漏（10—30%）來降低有害離子的累積。

2.地點與斜度

最理想的地點是縱橫兩方向都有斜度以利水往下流至回收槽與管。斜度約為 1 比 50 或 1 比 75，避免斜度少於百分之一。因為把土壤推平並具有斜度不容易，尤其是在溫室內，因此大部分都採用架高式 NFT 或底下墊保麗龍等材料，然後上面再放置栽培槽。

3.栽 培 槽

大部分農友用內白外黑的塑膠布做栽培槽，寬約 50—75 公分，厚約 150—250 微米。愈厚其底部愈容易平坦。番茄栽培所用摺好的栽培槽底部約25—30公分，太寬則根團太大。其他作物視根的大小而調整寬度。

4.養液槽與管路

大部份養液槽用玻璃纖維或不銹鋼，也有用水泥或只舖塑膠布的。英國一般養液桶容量大約只佔全部 NFT 系統水量的 10—15%而已。但若資金充足的話，可以加大容量，因為如果斷電的話，養液回流後會溢出養液槽。一個 1 公頃的番茄 NFT 系統的養液總量大約為 40,000 公升。

所有管路應用塑膠製品，因金屬管可能會造成汚染，尤其是因為養液的 pH 值通常是5.5—6.5之間。

5.控制系統

電導度與 pH 值的控制在 NFT 栽培體系是必要的。控制的方法可以用人工或機械，視農場規模與資本額而定。

根部環境

NFT 植物的根在苗期通常以岩綿塊或泥炭土或黏土等做支持物。而四週由幾個厘米深的養液循環供給水分、養分與空氣。根部漸漸往外伸長而形成根團，一部分浸在水中吸取水、養份；另一部分則暴露在空氣吸收氧氣。

1.水　　分

含有氧氣的循環水是造成 NFT植物生長良好的重要因素。但無限制的供水並非上策，適時地控制水分可使番茄植株營養生長受到抑制，也使番茄早期花著果順利，並提高果實品質。控制植株徒長可用斷水或提高塩濃度。植物吸水量與光照量有直接的相關。萵苣葉緣燒傷與日照量呈

直線相關。

2.pH

無土與傳統帶土栽培的一項重大的區別就是 pH 的緩衝力。無土栽培對 pH 的緩衝力很有限。通常養液栽培的 pH 為微酸性，而根部吸收陰陽離子速率的不同會造成養液 pH 的變化。

植物對離子吸收效率最好的 pH 為 5—7 之間。pH 低於 5 不利陽離子的吸收，pH 高於 7 則不利陰離子的吸收。根在吸收陽離子時，放出氫離子使養液 pH 下降；相對的，根吸收陰離子時，放出重碳酸塩與氫氧離子使養液 pH 上升。實際栽培上，pH 通常隨著時間增長而上升，但也有初期下降隨後上升的情形。因此隨時測定 pH ，用酸或鹼來調整養液的 pH 值在 5.5—6.5 之間是很重要的。

3.電導度與無機營養

養分的吸收在 NFT 系統是很有效率的，因此養液的濃度可以較其他系統低。根據英國的試驗報告，番茄種植在很寬的濃度範圍內（氮 10—320ppm，磷 5—200ppm 與鉀 20—375ppm），產量並沒有顯著差異。但也有些人用高濃度栽培，其優點為不易產生缺乏而不必常加養液。同時，測定養液濃度也較容易。濃度高低的取捨全靠個人情況而定。表一是供讀者參考的濃度與藥品種類。

由於養液或葉片內每一元素的測定費時耗錢，因此通常以測定電導度來代替。但電導度計測出來的數值只告訴我們塩類的總濃度，而沒有每一元素濃度的資料。因此添加肥料時必須按該作物的特性加適當的比例。如果不如此做會造成某些元素不足，某些元素累積過多的情形。可能的話，最好每 2—3 週測定主要元素（氮、磷、鉀、鈣、鎂）一次，每 4—6 週測定微量元素（鐵、鋅、錳、銅、鈉、硼、鉬）一次。

自動控制系統的塩度控制器通常設定在 2500—3500 μmhos 之間，依水的硬度、作物種類與生長期而定。番茄抑制營養生長使開始著果的電導度採用 9,500 μmhos 高電導度，在第一串花開花後連續10天處理。其後每隔 7 天降 2,000 μmhos 到 4,000 μmhos，維持至 3 月開始採收。接著每個月降 1,000 μmhos 至 2,000 μmhos，以配合夏季的高蒸散率。此濃度維持到收成結束。

4.溫　　度

北歐的長季番茄通常在 10 月或 11 月播種，2 月或 3 月初第一次採收。雖然第一個月的收量只佔總產量的 6—8%（約 25—30 kg／m²），但因價格好，其價值卻佔整季的 10—15%。降低夜溫可節省燃料費，但每降 1℃會延後採收期 2—4 天。但從另一個角度來看，降溫雖抑制果實發育，植物生長卻可增加，由於整株結果部位增加，最終產量也比不降溫植株多。

養液溫度若過高，根系會較旺盛，造成過多營養生長而延遲著果與成熟。同時果實也較易產生生理病。但高根溫有時也有好處，如番茄在採果期會有根部壞死的現象，此時提高根溫至 25℃，可加速新根長出。又葉菜類的萵苣，在提高根溫至 25℃，可增加 17%的鮮重。

5.氧　　氣

根部需要有適當的氧氣供應才能正常生長。由於氧氣不易溶於水，因此部分根露在空氣中是 NFT 栽培的必要條件。加溫會造成根部需氧量增加，其增加量由 10℃升到 30℃，約為 2 倍。

NFT 的栽培問題

最常見的有根部病害，如萎凋病、細菌性潰瘍等，詳細的病徵與防治可以參考有關的文章。

營養失調也是常見的問題，通常主要元素氮、磷、鉀需每兩週測定一次。次要元素的鈣、鎂、銅、鐵、錳、鉬、硼、鋅與鈉則每四週測定一次，可以防止營養失調的發生。

生理失調症通常發生於高溫季節。水耕栽培的最高根溫為35℃，超過此溫度則易產生生理失調症。用較大的地下水槽可以降低一點根溫。

長季節作物（番茄）在季節末與兩作之間一定要消毒，季節末通常用 2%的福馬林（formalin）溶液混在養液中使循環而殺死根部菌類。移走植株後則整個栽培系統與地面都用 2%福馬林液清潔。再以溫水（25—30℃）循環 1—2 小時，以洗掉福馬林。

整個 NFT 系統應該每年作一次檢查，包含馬達、pH 儀與電導度儀等。

表一　番茄 NFT 的元素適當濃度與化學藥品

元　　素	適當濃度（ppm）	化學藥品
Nitrate nitrogen　硝酸態氮	150—200	硝酸鉀、硝酸銨、硝酸鈣
Ammonium nitrogen　銨態氮	0—20	硝酸銨、硫酸銨
Potassium　鉀	300—500	硝酸鉀、硫酸鉀、磷酸二氫鉀
Phosphorus　磷	50	磷酸二氫鉀、磷酸二氫鈉、磷酸氫鈣
Calcium　鈣	150—300	硝酸鈣、硫酸鈣、磷酸氫鈣
Magnesium　鎂	50	硫酸鎂、硝酸鎂
Iron　鐵	3[a]	FeEDTA，FeEDDHA
Manganese　錳	1	硫酸錳
Copper　銅	0.1	硫酸銅
Zinc　鋅	0.1	硫酸鋅
Boron　硼	0.3—0.5	硼酸
Molybdenum　鉬	0.05	鉬酸銨
Sodium　鈉	最高 250	
Chlorine　氯	最高 200	

a 開始採收前以 5—10ppm 為宜。

NFT 的經濟效益

當我們把 NFT 和別的系統作經濟效益比較時，必須要把最初的投資算在內，表二為兩種 NFT（地面型與架高型）與泥炭土栽培系統的比較。泥炭土栽培系統為把 3 株番茄種在一個裝 42 公升泥炭土的袋子內，每季種完必須全面消毒而有兩週時間停產。NFT 則可週年生產。因此實際栽培上，NFT 一季的生產量可以比泥炭土多 15%。但根據表二，若地面型 NFT 與泥炭土的產量相同，則兩者都不佔優勢。若採用高架 NFT，則其產量必須較泥炭土多 5%以上，其經濟效益才會相當。NFT 還有一項管理容易的優點是必須用澆水管路系統所比不上的，就是灌水時不會因管路阻塞而斷水或供水不均。

表三，為荷蘭人做的岩綿、泥炭土包與 NFT 三種系統的經濟效益比較。雖然此表的數據並不是在同一溫室同一時間嚴格比較得來的，但是可以供一般的參考。

表二 英國 NFT 與泥炭土系統種植番茄的成本與收益(1980年資料)

方法	假設產量	收益差($/公頃) NFT	收益差($/公頃) 泥炭土
1.簡易 NFT[a] 比泥炭土[c]	相同	無	無
2.簡易 NFT 比泥炭土	NFT 多10%	20,000	無
3.架高 NFT[b] 比泥炭土	相同	無	13,000
4.架高 NFT 比泥炭土	NFT 多 10%	11,500	無

a 簡易 NFT—總投資額$45,000/公頃,分 7 年攤還。
b 架高 NFT—總投資額$86,500/公頃,分 7 年攤還。
c 泥炭土—假設每公頃種 25,000 株,成本為每公頃$15,000。

表三 荷蘭不同無土栽培系統的成本(假設產量相同)

水耕系統	設置成本($/公頃)	年花費($/公頃)	比一般土壤栽培多出的成本($公頃)
岩綿	55,000	16,000	15,000
泥炭土	38,000	14,000	8,000
NFT	81,000	22,000	21,500

NFT 的未來

NFT 已被證明是一套相當好的無土栽培系統。這個系統已在世界各地流傳,包括中東。中東地區由於氣候與土壤均不適合傳統的栽培法,因此無土栽培在這兒非常適合。事實上已經有人成功地利用 NFT 在乾旱的環境生產高品質的沙拉蔬菜和其他作物,如香瓜、薄荷與花卉。至少有兩家英國公司在中東地區以 NFT 生產沙拉蔬菜,不過由於事關商業機密,因此詳情不得而知。

以 NFT 系統種植短期作物,如萵苣與菊花等,比種植長期作物,如番茄與胡瓜等,較容易成功。但如果我們對一些結果期間的問題,如根死病,能有更深切的瞭解,長期作物就會容易種了。

NFT 有一個較其他系統不同的特點是整行的植株隨時可以移動。這項特性的將來可能商業用途是生長與採收的機械化,以及彈性的栽種計畫以充分利用水平或垂直的種植空間。

NFT 還算是相當新的技術,雖然已有不少地方採用它,但還有待世界上其他地方的嘗試與開發改進。最後,就如同其他的園藝技術一樣,NFT 的發展全靠它和其他方法的經濟潛力比較。

(節譯自 The Nutrient Film Technique, by C. J. Graves. Hort. Rev. 5:1-44, 1983)

Excel 是英國一家規模相當大的 NFT 番茄栽植公司。由一家電力公司與一家農業公司合夥經營。面積約 30 英畝。

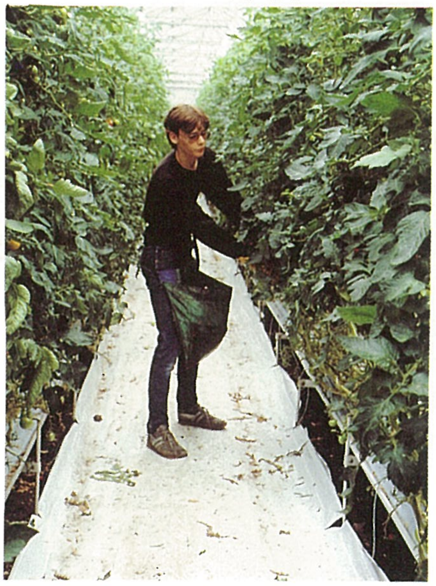
1. Excel 公司利用核能發電場的廢熱加溫，節省溫室內加熱費用。

2. 玻璃溫室外觀。

3. 大規模 NFT 栽種番茄。

4. NFT 栽培床為架立式。番茄莖被纏繞在底部，以維持植株高度不致太高。

5. 以架高的電動車整理繫綁番茄植株。



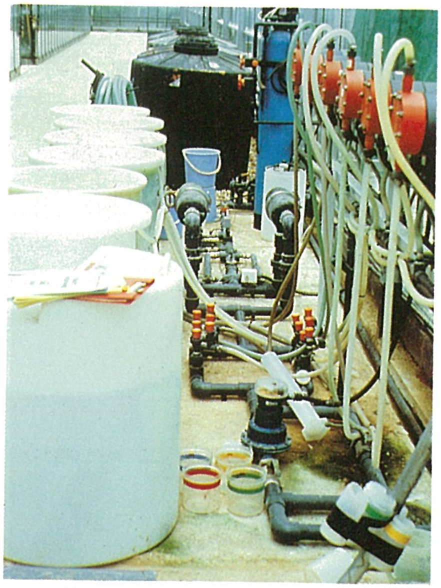
6. 番茄採收。

7. 採收後的番茄置於走道兩旁。

8. 一車車的番茄載往清洗，處理與分級。

9. 包裝好的番茄。

10. NFT 自動控制系統。



11. 養液供應系統。

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　61～65，1990

家　庭　式　水　耕　栽　培

許森淼*　蔡俊雄　楊小慈　林新發　吳登琳**

前　言

高品質、無農藥的蔬菜是今日消費大衆所企求的，水耕栽培系統因有設施的保護，養份的充分供應及調節，且無連作障害而能使蔬菜長得又快又好，已漸漸在本省被消費者接受為生產“清潔蔬菜”的重要方式。家庭式水耕在住家的陽台和屋頂上均可栽培，除可美化居家生活空間，尙可提供安心的蔬菜食用，同時兼具怡情養性及敎育的多重效果。

家庭式水耕之原理

家庭式水耕是以低成本、簡單、容易應用為訴求重點，最高的生產力並非簡易家庭式水耕所追求的目標，它也有別於提供最好的生長環境的其他水耕方法。本方法是提供一個可以讓蔬果自己來適應的環境，其特點如下：

1. 培養液不需循環，亦勿須打入空氣：蔬果根部氧氣的吸收主要靠液面下降後曝露於空氣中的上部根系，因此不必使用馬達（或電力）便可操作，可降低栽培成本，其生產地點的選擇也不必受限於有電源供應之處。
2. 利用較低的培養液濃度，提高培養液與根系比率來緩和培養液中酸鹼度及電導度的變化，使植物能逐漸適應：栽培過程中不必隨時調整培養液的酸鹼值、電導度（濃度之表示方法）、溫度或養分成份，且使用單一的培養液配方即可種植不同的蔬菜種類及品種，來降低其複雜性而提高實用性。
3. 省工、操作方便：對大部份生長期較短的葉菜（5—6 星期以內），從播種到收穫之間無需再添加水分或培養液，而生長期較長的蔬菜（如番茄、甜椒、洋香瓜），則增設一個液面控制閥維持一定水位，唯一所需的管理為三週補充一次養份。
4. 可使用各種不同材料或容器來栽培，如保麗龍箱或木箱上覆塑膠布，或做成一個框槽再覆紅泥膠布皆可，以降低生產成本。

家庭式水耕之栽培裝置

簡易家庭式水耕之裝置如下：

1. 栽培箱（槽）

可利用各種不同材料或形狀的容器來栽培，但高度最少要20公分。目前較常使用的是一般市面上出售的高25公分×長54公分×寬34公分的保麗龍箱，因它具有不漏水、不透光、保溫及隔熱的性質，且價格低廉，很適合當做裝培養液的容器。

---

* 農試所鳳山熱帶園藝試驗分所助理
** 亞洲蔬菜研究發展中心研究員、助理研究員、田間助理

另可以木板釘成20公分高、110公分寬、13.5公尺長（長度、寬度可隨環境而自行調整）之木槽，或設置長20公尺、寬90公分、深50公分的植槽，槽內覆塑膠布或紅泥膠布以防止水分滲漏，槽面舖以保麗龍板並打孔以放入苗盆，槽內裝一進水管及留一排水口，並加裝一液面控制閥，葉菜類之水位保持在不低於原始水位 2 公分的高度，果菜類之液面維持在苗盆底下10公分處，栽培期間只需每 3 個星期添加一次培養液的濃縮液。

2.培養液

已由台灣肥料公司依培養液配方配製成濃縮的 A 液及 B 液，使用時用水稀釋500倍即可（如表一）。

表一 水耕栽培養液成份

化學藥品	每公升養液所需重量（mg）
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	944.6
KNO_3	202.2
K_2HPO_4	196.8
KCl	25.5
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.5
Fe-EDTA	22.6
$MnSO_4 \cdot H_2O$	1.5
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.08
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22
H_3BO_3	2.86
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.03

利用 5N H_2SO_4 調節 pH 到 6.0

3.承載設置

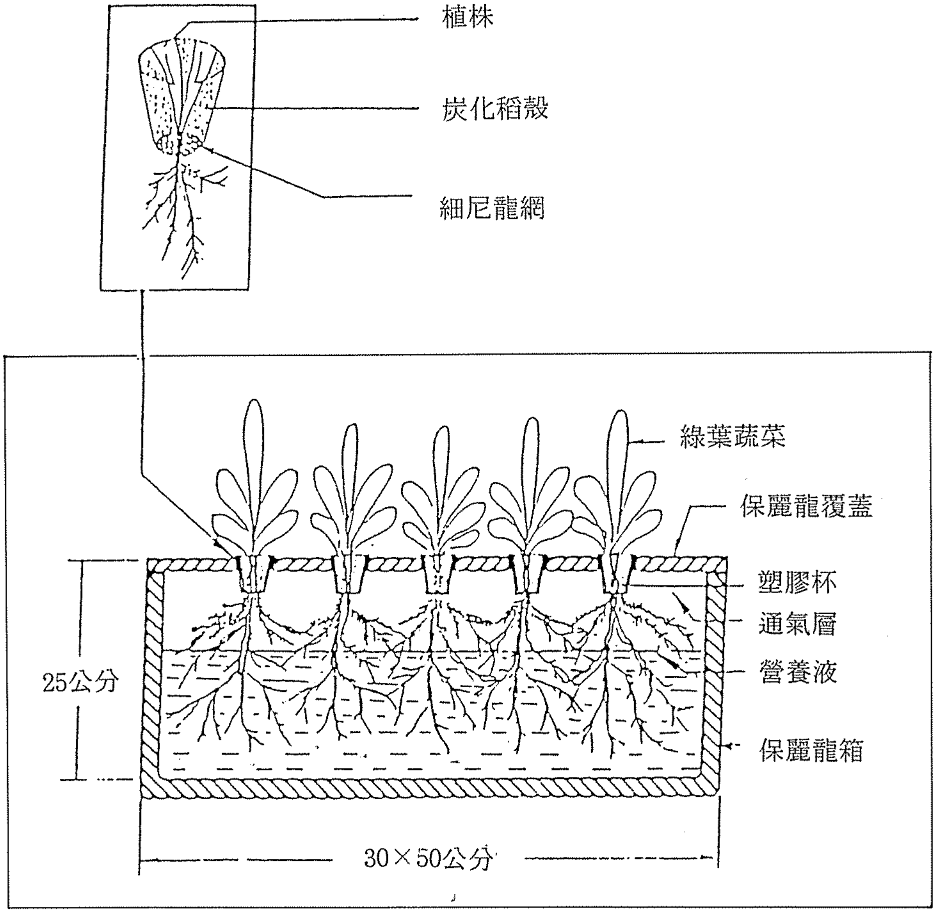
(1)葉菜及果菜類：

(a)育苗杯：是一般用來培育菜苗的黑色塑膠盆，口徑為6.5公分、高7.5公分（或類似的塑膠盆，如培育蘭花的鏤空之口徑較小的育苗盆），每一個育苗盆內再墊一層細尼龍網，然後再填入稻殼或經炭化的稻殼，做為蔬菜生長的介質。

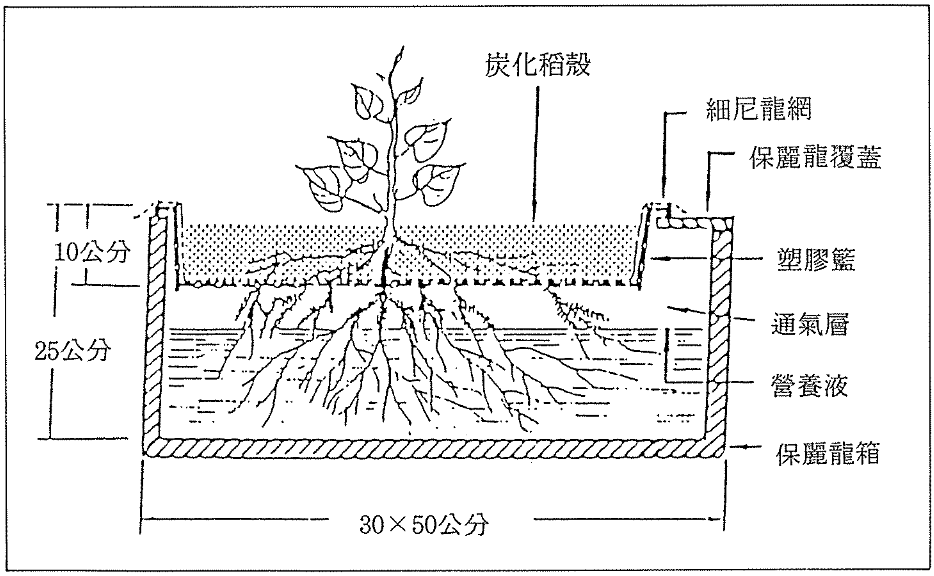
(b)承板：利用原來保麗龍箱的蓋子，育苗盆數目依箱槽大小而定，如用長54公分×寬34公分的箱子種葉菜，則可鑽三排直徑 6 公分的洞（口徑大小可依育苗盆的大小而異，以剛好可放入育苗盆為準），共15個；如種果菜只需 2 個。如以木槽為容器，則需另置保麗龍板，栽培葉菜之密度為10×12公分。最後將已裝填介質的育苗杯放入保麗龍板的洞內(圖一）。

(2)球莖及根菜類

塑膠籃：採用市售高11公分，上框30×42公分，下框28×39公分的孔狀塑膠籃，上舖一層尼龍細網，再裝填栽培介質即可，此裝置也可用來種植葉菜類(圖二）。



圖一　適用於葉菜類及果菜類之小型非循環式水耕栽培箱示意圖



圖二　適用於根菜類的小型非循環式水耕栽培箱示意圖

栽培方法簡便，人人均可操作

利用簡易家庭式水耕來種菜，操作很簡單，人人均可動手來實行。其方法如下：

1. 選擇適宜種植的蔬菜種類：保麗龍箱特別適合用來種植生育期短的葉菜類如小白菜、油菜、空心菜等，而根莖菜類（蘿蔔、馬鈴薯等）及瓜果類（胡瓜、番茄、甜瓜等）則由於生育期較長、吸水量大，只要定時補充培養液，亦可生長良好。
2. 播種方法：各種蔬菜的種子直接播種到育苗盆的炭化稻殼上，再用水微壓，使種子微微沒入稻殼內，每一盆播 1～3 粒種子，發芽後，將過多的苗拔掉，每盆留 1～2 株苗。
3. 每箱種植蔬菜株數：依蔬菜種類而定，例如小白菜、空心菜、油菜等株型較小的蔬菜，每一個育苗盆種 2 株，若種甘藍、結球白菜等株型較大的蔬菜和番茄、胡瓜等果菜，則每箱只能種 2 株。
4. 培養液使用量：栽培箱（槽）先加自來水，再加入適量的營養液 A，攪拌均勻後，另加適量的營養液 B，然後再加自來水，加以攪拌，水面的高度應達育苗盆底部上方 3 公分處，使培養液能進入介質內，蔬菜才能吸收到培養液。短期葉菜類可不必再加水分或培養液，直到收穫。生育期較長的果菜及根菜類，則在水位降到低於盆底10公分時，每天塡加自來水，每星期加一次稀釋好倍數的營養液，使水位保持在低於盆底10公分處。水位應避免昇降太多，以免造成根部腐爛，最好保持在 2 公分以內。
5. 種菜地點：栽培箱（槽）應放置在陽光充足的地方，並且用尼龍網罩起來，以防昆蟲侵入，危害蔬菜。栽培箱（槽）應避免雨水進入箱內，下雨時移到屋簷下，或以透明塑膠布，雨衣遮蓋。

結　　語

水耕栽培之蔬菜品質細嫩、水分多、纖維少，且農藥殘留在安全性之內，已日漸受到消費大衆的重視與肯定，而此種栽培方法簡單，管理方便，蔬菜種類又多樣化及四季均能種植，其除可依作物生長情況自動調節生產，且因其為小箱，即使有病害發生也侷限於一箱，不會感染到其他栽培箱，應是相當理想的家庭式栽培之水耕方法。

參考文獻（略）

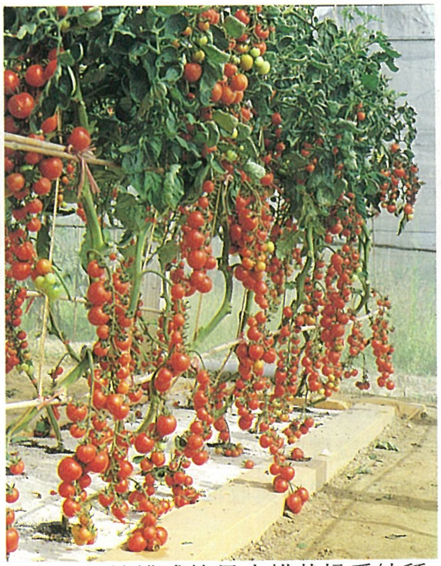
照片 1　家庭式水耕栽培系統

照片 2　家庭式水耕箱種芹菜

照片 3　以育苗盆育苗

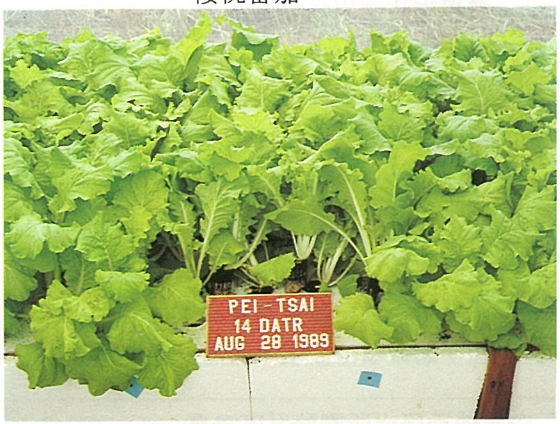
照片 4　移植葉菜（小白菜）

照片 5　木槽式簡易水耕栽培系統



照片 6　植槽式簡易水耕栽培系統種櫻桃番茄

照片 7　植槽式簡易水耕栽培系統



照片 8 木槽式簡易水耕栽培系統種小白菜

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　66～73，1990

滴灌系統及其應用

黃東瑞*

一、滴灌的意義與特點

滴水灌溉（Drip or trickle irrigation）係利用完整的管路系統，將作物生長所需水分與養分，以經常的及少量的方式，直接送達作物根系的一種灌溉方法。以色列 Symcha Blass 氏於1960年首先利用鹽分水於沙漠地區之田間作物進行滴灌試驗，指出以滴灌方法施灌可獲得省水、省工及增加作物產量與品質，即使利用不良水質施灌，亦能獲得相當的產量。Goldberg 氏於1969年在美國亞利桑那州舉辦之國際旱地會議時將滴灌方法報告於世。嗣後為各國所重視，並在果菜園中推廣應用。經各國學者研究指出，滴灌方法具有很多優點：

㈠無輸水損失、地面逕流損失，並減少地面蒸發與滲漏損失。因此，較噴灌、溝灌、漫灌等灌溉方法可節省25～50%之灌溉水量。

㈡可顯著增加作物產量與品質，及縮短生育期而提早成熟。

㈢肥料施用效率提高、流失減少。因此，節省肥料用量。

㈣因地表維持乾旱，而減少雜草與病害。

㈤容易做到自動灌溉，可節省灌溉、施肥與加藥劑所需人工。

㈥利用小水量及低壓施灌，可節省抽水與輸水設備、減少能源損耗。

㈦水質與土壤條件較差地區亦可生長作物，獲得相當產量。

但滴灌方法仍有三項重要缺點：

㈠滴水管容易堵塞，致使水分分佈不勻，影響作物產量及滴水管使用年限。

㈡滴灌系統設置成本高，對於低價值或增產潛力低之作物不易還本。

㈢滴水管易為機耕與收穫作業破壞、老鼠螞蟻咬破、作物所掐挾或受土壤壓扁，維修煩難。

二、滴灌應用例

滴灌方法適用於土壤保水力差、乾旱或地形崎嶇地區，可獲得顯著增產效果。近年來由於岩綿介質（Rockwool）之開發，使滴灌方法在園藝作物栽培上之應用迅速推展，因其具有節省大量澆水人工、減少作物病害及增產等優點，將成為養液栽培之主流。茲列舉應用例供參考：

㈠滴灌在蔗園之應用以夏威夷為最早（1970年開始），並迅速推廣應用，成為蔗園主要之灌溉方法。經1977～1980年四作甘蔗收穫結果顯示，夏威夷甘蔗滴灌較溝灌每作每英畝平均增產2.7噸糖。

㈡台糖研究所自1976年開始引進國外各型滴水管進行田間試驗，觀察其出水特性，及探討砂土蔗園滴灌用水量與甘蔗產量之關係，而以溝灌為對照。試驗結果顯示，滴灌區產蔗量（PR＝0.7處理）為97噸每公頃，溝灌區產蔗量只有55噸每公頃，可見滴灌較溝灌增產極為顯著。

* 台灣糖業研究所園藝系研究員

㈢以色列 Goldberg 氏（1970）以種植香瓜（Melon）及番茄（Tomato）為試驗，比較滴灌與噴灌之灌溉效果，試驗結果如表一與表二所示。顯示滴灌方法大幅度提高作物產量與品質，而且受不良水質影響較輕微。

表一　灌溉方法對於香瓜（Melon）產量之影響

灌溉方法	產量（Tons／Acre）	出口等級
噴灌	9.52	5.18
溝灌	9.68	6.68
滴灌	17.20	13.96

表二　水質與灌溉方法對於番茄（Tomato）產量之影響

灌溉方法	產量（Tons／Acre）	
	鹽水（3 mmhos）	淡水（0.4 mmhos）
噴灌	15.72	20.80
滴灌	25.96	26.68

㈣荷蘭標準式岩綿栽培法（Standard system）利用岩綿為介質，以滴灌（Drip）方式，每株作物各配一滴管以施灌培養液，多餘之養液排出，為非循環式（沈再發，1988），本栽培方式適用於種植胡瓜、番茄、甜椒、茄子等作物。此種非循環的滴灌方式為目前日本岩綿耕之主流，已商品化的有誠和、御門、協和等廠商製品（王鼎盛，1986）。

㈤台糖公司在蝴蝶蘭栽培上已逐漸採用細口徑黑色 PE 管進行滴灌，以代替人工澆水，降低蝴蝶蘭病害。

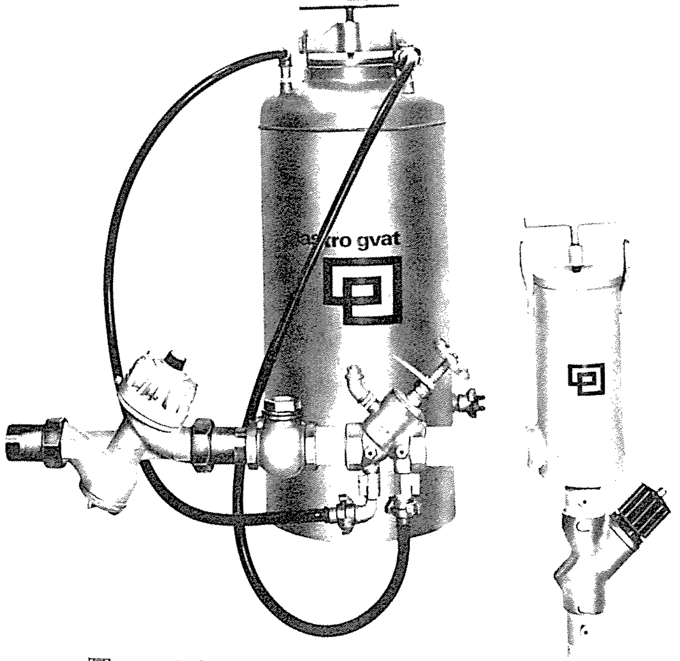
三、滴灌設備簡介

滴灌設施分為頭首工、輸水管路、滴水管與滴嘴三個部分。整個系統設計與器材選用應以經濟耐用、裝設維修容易為原則。尤其是滴嘴，應採用不易堵塞、滴水流量均勻、受水壓影響小、耐蝕不變形、裝卸容易且價廉者為宜。

㈠頭首工（Head）

連接水源並調節水壓與供水量、進行水質過濾及施肥等。主要設備包括制水閥、調壓閥、逆止閥、排氣閥、過濾器、量水錶、施肥裝置等，如圖一所示。圖中過濾器係以兩層不銹鋼網（100與150 meshes）擔任過濾工作，過濾網須做定期清洗。另外，如夏威夷則採用大型砂濾塔，並由反沖洗作業來清洗，惟效果不理想。

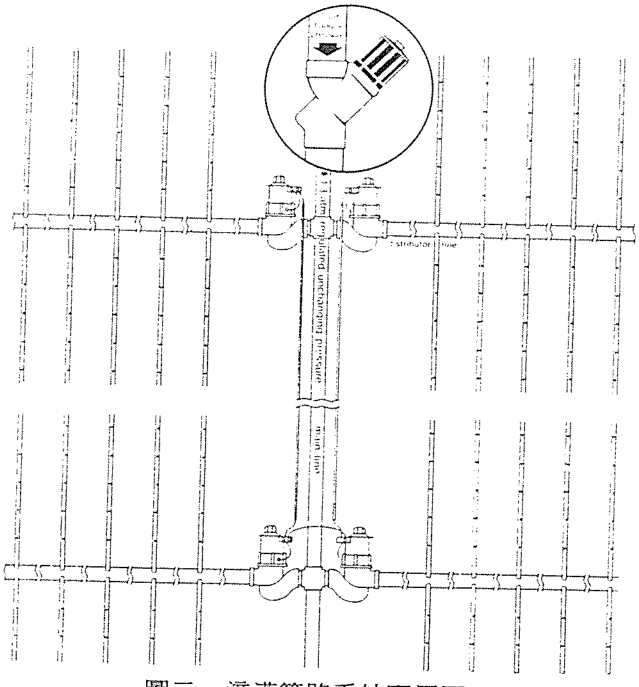
施肥裝置由肥料筒、排氣閥、兩條塑膠管及壓差調節閥組成，肥料筒內可裝液肥或可溶性肥料，施肥量可由壓差調節閥調整之。



圖一 頭首工組成例（Kibbutz Gvat, Israel）

㈡輸水管路

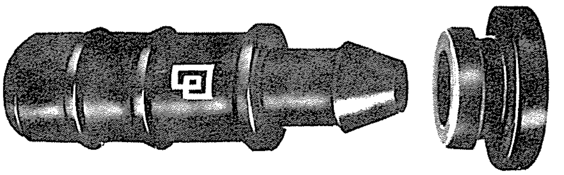
由幹管（Main line）與副幹管（Submain line）組成，典型結構如圖二所示，幹管自頭首工引至各垂直方向之副幹管或直接至滴水支管。每支副幹管設一制水閥、或電磁閥、或水錶式制水閥以控制其啟閉，以產生分區輪灌效果。管路材料以採用 PVC 管及配件較經濟，管徑與厚度視流量、水壓與輸水長度而定。整個系統以埋入地面60公分以下為宜，以免受陽光曝曬或機械破壞。



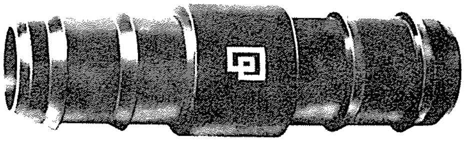
圖二 滴灌管路系統配置圖

㈢滴水管與滴嘴

滴水管通常為直徑12至16公厘之 PE 製小管，由圖三所示之橡膠座及主接頭與副幹管連接，圖四為供滴水管拼接或破損修補用之接頭。



圖三　PVC 主接頭與橡膠座



圖四　滴水管用 PVC 接頭

滴水管上加裝滴嘴（Dripper or nozzle）或鑽小孔（Orifice）或插細管，使水能以細小流量引灌作物。滴水管的型式甚多，有利用迂迴之長流線以增加水流阻力、或利用狹小面積限制水流、或以多孔分流方式降低水壓者，其主要型式如下：

1.單管（Single-wall tube）

管徑 16 mm，管厚 0.3 mm，孔口 0.3 mm，夏威夷蔗園灌溉用，Wisdom Industries Inc. 產品。

2.雙層管（Bi-wall tube）

管徑 16 mm，管厚 0.6 mm，孔口 0.5 mm，主輸水管每孔對應副管四個孔，澳州蔗園用，Reed 公司產品。

3.雙網管（Drip strip）

管徑 13 mm，管厚 0.2 mm，管內附一層網狀壓力補償膜，孔口 0.8 mm，蔬菜灌溉用，Reed 公司產品。

4.Plastro Gvat 滴水管

管徑 16 mm，管厚 1.6 mm，由側裝彈型滴嘴組成，適合甘蔗、番茄、胡瓜等作物，以色列產品。

5.Netafim 直通型滴水管

管徑 16 mm，管厚 1.6 mm，由直通型滴嘴連接而成，適用於果樹等作物，以色列產品。

6.Ultradrip-IV 滴水帶

為寬約 7 公分塑膠帶，中間通水，兩側由迂迴之長流線形成滴嘴，蔬菜灌溉用，日本 TSK產品。

7.壓力補償型滴嘴

利用一彈性膜片，當水壓增加時，使滴嘴內通道縮小，而維持穩定的流量，日本 GEC產品。

8.PE細管滴嘴

以微細口徑（1～3 mm內徑）之細長PE管做為滴嘴，直接插於給水管或多孔分水器，適合灌溉盆栽作物。此等PE管及各型多孔分水器，國內已有多家廠商製造供應。

四、滴灌管路水理計算

滴灌管路採用之管徑大小與使用流量、水壓及管線長度有關。首先，決定滴水管長度，算出每一支滴水管之滴嘴數目，然後乘上滴嘴流量而求出每支滴水管流量（q）。再以每支副幹管所擁有之滴水管數目（N）乘上滴水管流量，求出每支副幹管流量Q（＝q＊N）。又因一般採用以副幹管為單位分區輪灌，故幹管流量亦等於Q。

管路水流造成之壓力損失Hf可用威廉公式（Williams-Hazen equation）計算：

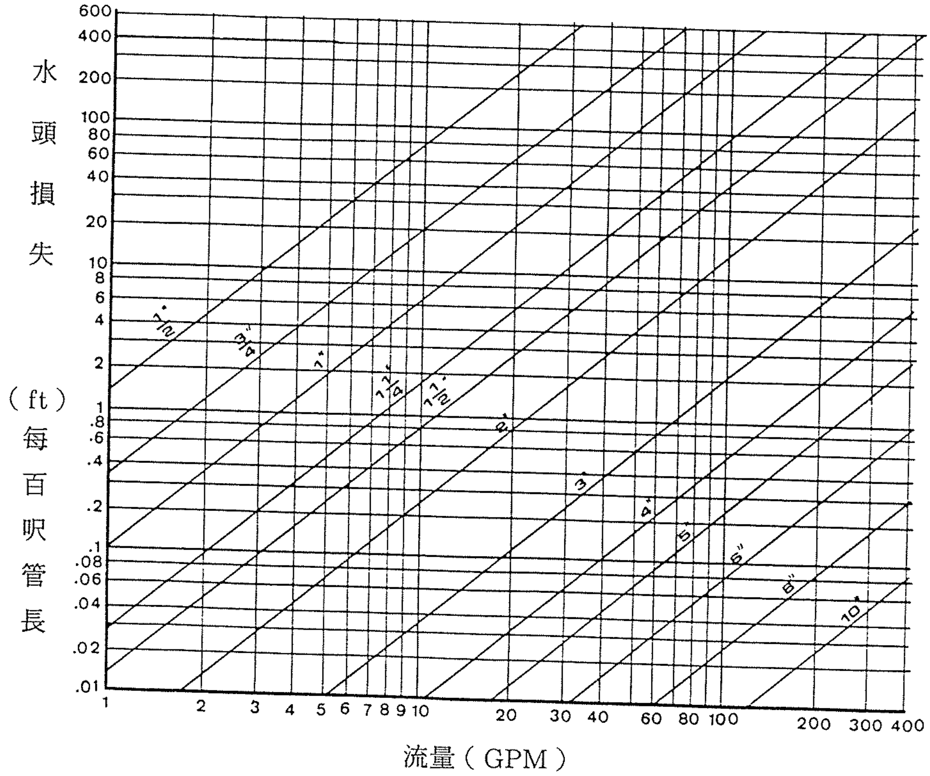
$$Hf = 4.551 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852}\ D^{4.871}} * L$$

式中　Hf＝水流摩擦損失（psi）　Q＝流量（gpm）　L＝管路長度（ft）　D＝管內徑（in）

C＝粗糙係數---PVC管路　C＝150；　直徑½吋PE管　C＝130

圖五為PVC管路之流量、管徑與水流摩擦損失關係圖。由上述求出之管路流量Q與採用之管徑大小為參數，可從圖上求出每100ft管長之水頭損失（ft），做為幹管與副幹管設計參考。另外，由於滴水管為一種發散流（Diverging flow），因此，求出之水頭損失需再乘以衰減係數（Reduction coefficient）F（＝0.35）：

$$Hf' = 0.35 * Hf$$



圖五　PVC管水頭損失與管徑及流量之關係圖

相片一　沙崙農場砂土蔗園滴灌（左）較溝灌（右）甘蔗顯著增產情形。

相片二　蔗田整地時利用心土犁將滴水管埋設地下，可避免機械破壞及減少地面蒸發。

相片三　地表下滴灌，水分上昇至地面形成圓形水印情形。

相片四　以岩棉滴灌方法種植胡瓜，每株各配一PE 滴水細管。

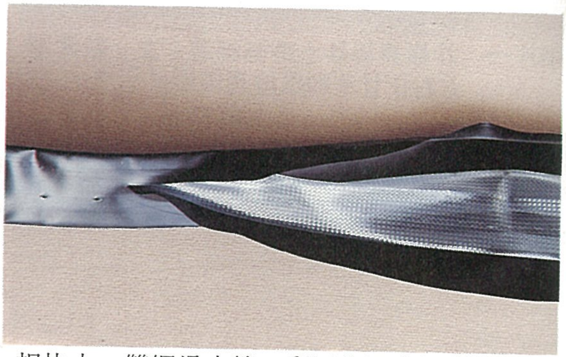
相片五　地表下滴灌使甘蔗根系發展旺盛。

相片六　滴水管連接 PVC 副幹管而引灌各畦情形。

相片七 滴灌管路安裝，先在副幹管開一直徑14mm孔，再塞入橡膠座。

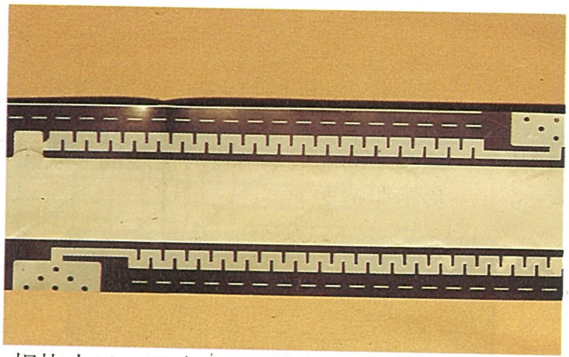
相片八 副幹管裝設橡膠座、主接頭、滴水管及自動冲洗閥情形。

相片九 雙層滴水管，由中央主管通水，駝背之副管配水。

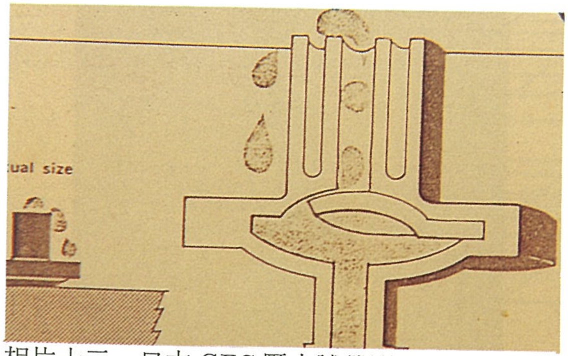


相片十 雙網滴水管，利用內層之紋狀膜片消能。

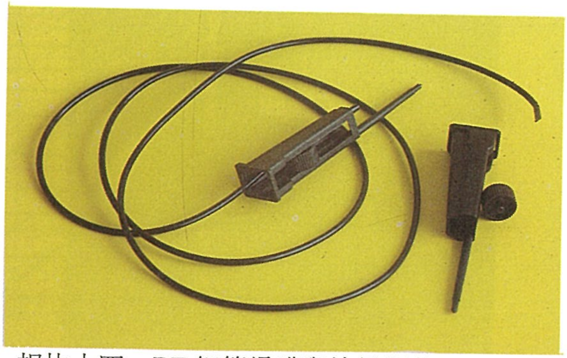
相片十一 NETAFIM 直通型滴水管，滴嘴中央通水，外圍設有曲折流線消能。



相片十二 日本 TSK 滴水帶，中央通水，兩側由曲折流線形成滴嘴消能。



相片十三 日本 GEC 壓力補償型滴嘴，利用彈性膜片自動調節流量。



相片十四 PE 細管滴嘴與流量調整器。

相片十五　PE細管滴嘴與多孔分水器連接情形。

相片十六　台糖公司利用PE細管滴嘴灌溉蝴蝶蘭情形。

參考文獻

1.王鼎盛、黃裕益　1986　日本養液栽培現況　中國農業工程學報 32(4)：154-161。

2.沈再發　1988　荷蘭及美國養液栽培之概況　中國園藝 34（1）：13-26。

3.溫理仁　1972　PE滴水灌溉系統及其應用　JCRR, Taipei.

4.黃東瑞、張雅雄、楊柏椿、方永泰　1982　台灣粗質地蔗園地表下滴水灌溉之研究　台灣糖業研究所研究彙報 96：13-32。

5.Gibson, W. 1975. General status of drip irrigation. Hawaiian Sugar Technol. 1974 Rept. 33th 32-34.

6.Goldberg, D., and M. Shmueli. 1969. Trickle irrigation-A method for increased agricultural production under conditions of saline water and adverse soils. International Arid Lands Conference, Tucson Ariz. USA. 1969.

7.Goldberg, D., and M. Shmueli. 1970. Drip irrigation-A method used under arid and desert conditions of high water and soil salinity. Transactions of the ASAE 13 (1): 38-41.

8.Huang, T. J., P. C. Yang, Y. H. Chang, and Y. T. Fang. 1984. Subsurface drip irrigation of sugarcane on sandy soil. International Commission on irrigation and drainage 12th Congress Q.39 R.41 :653-668.

9.Howell, T. A., and E. A. Hiler. 1974. Trickle irrigation lateral design. Transactions of the ASAE 17: 902-908.

10.Shoji, K., and J. Sakuma. 1981. Update of drip irrigation at HC & S Company. Hawaiian Sugar Technol. 39th: 107-110.

11.Wu, I. P. 1975. Drip-irrigation system design for sugarcane fields. Hawaiian Planters' Record Vol. 59, No.1.

養液栽培技術講習會專刊 第三輯 74～81，1990

作物要素缺乏之快速診斷

李國權・林慧玲

緒 言

作物組織無機養分分析，一般採用原子吸收光譜儀（atomic absorption spectrophotometer）或焰光儀（flame photometer），但儀器設備價格昂貴，不是一般農友所能負擔，而且樣品採集及處理也較複雜。原子吸收光譜儀以分析金屬元素為主，採集之樣品用高溫或強酸灰化後可測定植株要素之總量，包括已經合成為植株組織之要素以及溶解於汁液中的要素成分，所以稱為總量或定量分析（total or quantitative analysis）；快速組織測試（Rapid tissue test）係測定已被植株吸收但未被同化尚維持溶解狀態汁液中的無機成分，稱為半定量分析（Semiquantitative analysis）。鉀在植株體內大部分以離子狀態溶解於細胞液中，因此速測法之結果亦可表示其總量。

快速組織測試之優點

一些快速測試法因過於簡單，測試結果容易發生誤導，最好做為確認症狀之輔助，但也有學者認為測定部分的無機養分濃度，如溶解在水、稀酸或螯合劑中之要素，亦可做爲良好的養分狀況指標：植株水溶性之鋅量較總鋅量或碳酸酐酶（Carbonic anhydrase，含鋅酵素）更能代表鋅的養分狀況。在易累積硝酸態氮的作物，例如甜菜，測定葉柄之硝酸態氮濃度較測其總氮量更為準確（Gilbert et al 1983），許多年來，這種測定方法已經成功地被應用在氮素施肥量之推薦上。但在硝酸鹽易被根部還原之作物（如薔薇科植物）或者在施用銨態氮時，通常測定其胺基酸或醯胺（amide）為主（Marschner, 1986）。

在硫的測定方面，測定吸收與貯藏形式的硫酸鹽（sulfate）或者是硫酸鹽與總硫量的比率，為一良好的指標（Urich and Hylton, 1968; Islam and Ponnamperuma, 1982）；又鈣在植物體內易與草酸結合沈澱而不能被植物利用，所以一些容易發生鈣缺乏症狀之作物常含有較高的草酸，因而溶解性鈣含量較少而易發生缺乏症狀（Brumagen and Hiatt，1966），因此測定溶解性鈣濃度為較佳的診斷方法。在另一方面，植株含鐵之總量並非可靠之營養指標，鐵缺乏之臨界濃度或容許濃度範圍等資料，僅可供參考之用（Chapman，1966）。因此，測定其生理活性或可資利用鐵之濃度，包括稀酸或螯合劑萃取之鐵，為比較可靠之方法。

可溶性養分之萃取

快速測定可溶性養分，一般直接採用植株適當部位如葉片、葉柄、草本植物莖之基部等，取其汁液即可。但也有許多溶劑被用來萃取植株體內之可溶性養分，這些溶劑包括水、稀釋之有機酸與礦石酸及緩衝酸類如摩根試劑（Morgan′s reagent）。這類試驗通常取各種植株葉柄中部，切碎，稱取4g鮮重，浸泡在40mℓ的摩根試劑中15分鐘後過濾，如有色素存在時，每25mℓ濾液加入0.2g純化之活性碳，攪拌後再過濾，即可用於測試各種養分濃度（Nicholas 1948,

*中興大學園藝學系教授及助教

1957）。

各種養分缺乏症狀及測試方法

氮之測定

在缺氮的情況下，作物地上部生長減少，下位葉黃化，根部增長，但僅具主根，側根減少，且根之色澤由正常白色轉變為棕色，這是由於木質素過度合成的關係。因此養分吸收減少而影響地上部生長，地上部與地下部長度比率降低（Yoshiaki，1971），在水耕栽培時容易發現此症狀。缺氮速測方法有以下四種：

㈠Merckoquant 試條法

氮及其他要素之速測常用的 merckoquant 試條，係由西德默克（Merck）公司製造，可測試硝酸態氮、銨態氮、鉀、鈣、銅、鐵、錳、鋅、硫、氯等，但因色素干擾及濃度等問題並不能完全適用在植株汁液分析上。其中廣泛地被用在田間速測及實驗室中初步測試之用的為硝酸態氮之測定，可以半定量方式處理大量樣品以估計養分含量及決定是否需要進一步利用更精確的定量分析。其主要用途除了測定植株組織及土壤中之氮濃度外，並可應用在水耕液養分濃度之測定。

Merckoquant 試條對於離子測定甚為專一，具備現代速測方法之各種條件，其主要特點是：

1.使用容易，節省時間，經濟實惠。

2.使用範圍廣，具有足夠之敏感度。

3.測試結果與正式實驗分析有良好之相關性。

4.在適宜之貯藏情況下，能夠保持長時間的穩定性。

利用 Merckoquant 測試氮素時，將試條放置在堅實的平面上，藥膜面朝上，再將採集之葉柄，靠近頂端之感應小區塊，以筆桿壓擠葉柄，使汁液流出滲入感應小區塊中，待約二分鐘，將呈色之小方塊與標準色條比較，即可得知硝酸態氮之濃度。如果組織硝酸態氮濃度甚高，呈色反應在二分鐘內完成，則需記錄呈色所需時間，並由下列公式計算或由時間濃度轉換表查明正確濃度（參閱養液栽培技術講習會專刊第一輯），但植物體內硝酸根濃度可因紅蜘蛛危害或乾旱等影響而增加，應加注意。硝酸態氮濃度與反應時間關係之公式：

$NO_3 = 10^{(4 \cdot 9 - 1 \cdot 085 \log t)}$

㈡二苯胺（Diphenylamine）法

二苯胺亦為測試硝酸態氮之試藥。配製法是將0.2g二苯胺溶於100mℓ不含硝酸鹽之濃硫酸中（硫酸腐蝕性強，應小心處理），貯藏於有蓋之玻璃瓶，加標籤並放置於暗處，使用時加一滴試劑於縱切葉柄或其他部位之切口上，如果試劑快速變為藍色，表示植株氮素供應充足，如果試劑不呈色或者緩慢地轉變為藍色，植株可能有缺氮的現象（Albert et al, 1980）。缺硫與缺氮的症狀類似，亦可以本法加以區別。

㈢硝酸鹽還原酶（Nitrate reductase）測定法

植株缺氮時，植體硝酸鹽還原酶活性會降低。還原酶活性的高低亦為測定作物氮含量的方法之一，且甚為簡便，可用葉圓片迅速測得結果。但此酵素活性易受其他因素影響，結果不甚穩定，是其缺點。硝酸鹽還原酶試劑之配製及測試方法如下：0.2M 磷酸緩衝液（pH

7.5）2.5ml，0.1M KNO_3 1ml，100% n－propanol 0.25ml，chloramphenicol（0.5mg／ml）2滴，去離子水1.25mℓ。上述試劑依比例混合後，放置於棕色玻璃瓶中，取5 mℓ置於試管中，再加入葉圓片並蓋上橡皮塞混合均勻後放置約15分鐘，待葉片轉變為棕色時（依植物種類而定），再加1 ml 1% sulfanilic acid或3M sulfanilic amide鹽酸溶液停止反應，再加1ml 0.02% N-1-naphthyl ethylene diamide-HCl 溶液，比較呈色反應（Jaworski, 1971）。

(四)胺基酸 ninhydrin 呈色法

本法適用於植株根部易將硝酸態氮還原為胺基酸的作物，曾有學者（Baxter, 1965）測試不同氮肥量供應下生長之蘋果、桃及柑桔的根部及樹皮胺基酸濃度，發現比分析葉片總氮含量，更能代表植株之營養狀況。本法另一優點是可在果樹生長或休眠期進行測試，其法為直接將根橫切，再將寧海都（Ninhydrin）試劑塗在切口，觀察呈色反應（Oland, 1954），或將根之切片用枸橼酸緩衝液（pH 5）萃取，取其定量置於試管中再加入2ml 寧海都試劑（2% ninhydrin溶解在2-methoxy ethanol）在100℃滾水加熱20分鐘，冷卻後測其呈色程度，估計胺基酸之含量（Boxter, 1965）。而另一些作物如葡萄，以 Arginine 為重要氮之貯藏形態，分析時需注意其他養分之平衡。如在缺磷之狀態下，柑桔 Arginine 濃度會顯著增加，常有誤判之可能。

磷之測定

一般缺磷植株，葉色變為深綠色或略帶紅色，葉片直立（與莖之間之角度較小），其症狀視植物之種類而定，觀察根部時，根生長減少，常有粉紅色素累積（木瓜）或出現紅銹的顏色，後者係由於缺磷時，鐵容易被氧化的緣故（Yoshiaki，1971）。

(一)磷缺乏時，植株體內酸性磷酸鹽酶（acid phosphatase）活性增加，Besford（1980）認為該酵素活性增加與磷的缺乏具有相關性，可做為磷素供應狀況之快速、敏感之指標。其測試方法是利用醋酸緩衝液萃取植物體之酸性磷酸脂酶，使 p-nitrophenyl phosphate 水解為 p-nitrophenol，後者在高 pH（>9）試劑中呈現黃色，可利用目測比較顏色深淺，間接推測磷之含量。

(二)釩鉬酸法

取均勻切碎葉片樣品置於試管中，加 1ml鉬酸釩酸溶液（molybdate-vanadate solution）及 3ml去離子水，振盪試管後，比較呈色反應。本法鉬酸釩酸溶液與磷產生黃色反應，顏色穩定且不與其他離子起干擾作用，因此較鉬藍法為佳。試劑之配製如下：溶解22.5g 鉬酸銨於400ml去離子水中，再溶解1.25g 釩酸銨於300ml 滾水中，將後者倒入鉬酸銨溶液中，冷卻至室溫再加250ml 濃硝酸沖淡至1公升。

(三)鉬藍法

①試　劑：8 g之鉬酸銨溶於200mℓ之蒸餾水，加入126mℓ濃鹽酸及74mℓ蒸餾水攪拌，稀釋4倍（稀釋後不易久存），使用前需以空白試驗校正之。

②樣品製備：取大量（6—8株）整齊而無折損之葉片，去除中肋，以利刃切成大小長寬一致之小塊。再取定量葉片，放入小平底瓶，加入試劑至10mℓ。強烈振盪1分鐘後，加入少許草酸亞錫粉末，混合後呈淡綠至深藍等不同程度之顏色反應，再與標準液比對或於比色計中判讀（Kzantz et al, 1948）。

鉀之測定

缺鉀植株，莖皮層細胞壞死，附近活細胞失去膨壓，可用放大鏡或顯微鏡觀察。下位葉葉緣往往發生焦枯，乃由於腐肉胺（putrescine）累積之故，與氯過多有類似症狀。某些作物如百香果，缺鉀植株往往表現出缺鐵症狀，因此需要快速診斷缺乏何種症狀，缺鉀的測定有以下三種方法：

(一)Dipicrylamine 染色法

取 Dipicrylamine 1g，溶於10ml 2N 碳酸鈉，加75ml蒸餾水，配製成試劑。測試時，取植物組織（葉柄）薄片放置於載玻璃上，加 1 滴試劑，上覆蓋玻片，放置於顯微鏡下觀察，正常植株有紅色長方形結晶沈澱，缺鉀植株則無。

(二)Sodium tetraphenyl boron 法

取上述試劑之 1%水溶液 1 滴，置於黑色磁磚上，再加一滴植物組織壓榨液，以乾淨玻璃棒攪拌，可產生白色沈澱，與標準液比較，可估計樣品鉀濃度，此法鉀臨界濃度約在2000 $\mu g\ ml^{-1}$，超過此濃度白色沈澱不因鉀量之增加而增強（Scaife and Bray, 1977）。

(三)亞硝酸鈷鈉（Sodium cobaltinitrite）法

試劑之配製：溶解 5g 亞硝酸鈷鈉及30g 亞硝酸鈉（Sodium nitrite）於蒸餾水中，加 5 ml 冰醋酸，定量到100ml。由其中取 5ml，加到另一亞硝酸鈉溶液（亞硝酸鈉 15g 溶於100 ml 水中，並用醋酸調整 pH 至 5）中。取定量切細之葉片組織置於小玻璃瓶中，加10ml 上述試劑（21℃）用力搖動 1 分鐘，再加 5ml 95%之乙醇，混合後等待 2—3 分鐘，觀察沈澱之產生。沈澱多者含鉀量多，清澈之溶液為缺鉀樣品（Krantz et al. 1948）。

鈣之測定

缺鈣植株幼葉發生壞死現象，鈣缺乏對根部影響甚大，往往根尖壞死，根之長度變短，側根也有相同之症狀，在嚴重缺鈣植株，因細根大量壞死，吸水量也受到影響，葉片有下垂之現象。鈣濃度之測試，除利用 Merckoquant 試條外，也可利用 picrolonic acid 染色，其法如下：取 246 mg picrolonic acid 溶於100ml 蒸餾水中(黃色溶液)，使用前加 4 滴酚酞並以0.1N NaOH 中和，使溶液成淡粉紅色。使用時，切取葉柄薄片，置於載玻璃片上，加一滴試劑，於顯微鏡下觀察，有黃色稜形結晶沈澱者為正常，缺鈣者無沈澱。鈣缺乏時，在許多作物中會發生細胞自動分解現象，但需高倍顯微鏡，才可以觀察得到。

銅之測定

作物缺銅時，木質形成受到顯著的影響，因此缺銅植株常常出現幼葉變形，莖部扭曲，枝條下垂，禾本科植物容易倒伏等症狀，尤其在多施氮肥而缺銅之情況下最易發生。銅能影響細胞壁之形成，缺銅葉片，木質素形成減少而纖維素增加。嚴重缺銅植株，導管不能充分木質化。在輕微缺銅情況，也能顯現植株木質化的減少，同時對銅素之施用能夠迅速反應，因此可測試木質化程度來做為銅缺乏的診斷指標。其測試方法如下：取試藥 phloroglucin 8g， 溶於 100ml 酒精，再加20ml 濃鹽酸，配成試劑。使用時取葉柄薄片，加試劑一滴，利用光學顯微鏡鏡檢，正常植株組織呈紅色，缺銅者木質組織無紅色反應。

鐵之測定

缺鐵對植株主要影響為抑制葉綠素的形成，使幼葉黃化。缺鐵亦可影響許多種類植物根之形態，這些變化包括生長的抑制，根尖變粗，產生多量的根毛等，在水耕狀態下可利用肉眼加以辨別，如用顯微鏡觀察，則可發現根表皮細胞有增殖變厚的現象。對於鐵的吸收能力強的植物（efficient plant）亦可發現有特殊構造的細胞“transfer cell”，其特徵為細胞壁向內方生長，

細胞膜面積增大及粒線體大量增加等，其目的在幫助鐵的吸收，也可以做為診斷之輔助證據。又植物體內有一種普遍存在的含鐵酵素稱為過氧化物酶（peroxidase），對於鐵之供應甚為敏感，同時在缺鐵與缺錳症狀不易分辨之時，可藉此酵素活性之增減加以區別（缺鐵時過氧化物酶活性減少，缺錳時活性增加），其分析方法如下：用3mm cork borer切取葉圓片，即刻放入試管，再加0.5ml試劑（0.2 M醋酸緩衝液（pH 5.0），0.1% ascorbic acid及0.35M過氧化氫，以2：2：1體積比例混合）及0.1ml benzidine溶液（0.2g溶於80%酒精）振盪試管，比較出現藍色時間之快慢，以計算過氧化物酶活性之高低。

鋅之測定：

缺鋅植株一般症狀為節間縮短，葉簇生而小，或者幼葉黃化為斑紋狀。鋅的測試一般都比較複雜，除原子吸收光譜儀外，常利用含鋅酵素碳酸酐酶（carbonic anhydrase）之活性做為診斷指標，該酵素的分析方法如下：置新鮮葉圓片250mg於試管，加入3ml溶液〔0.02M Veronol-HCl緩衝液（pH8.0），2.3ml 0.018% peptone, 0.12ml 0.2% bromothymol blue（溶於酒精）〕，在冰水浴中（4℃）10分鐘，加0.5ml CO_2飽和水，記錄pH自8轉到6.3所需時間（碳酸酐酶亦可用 Warburg respirometer測定，但較為複雜）。

硼之測定

缺硼植株嫩枝生長點常有壞死，側枝多，葉柄縱裂或橫裂，葉片厚而脆等症狀。如果採取莖部組織用顯微鏡鏡檢時，可以發現形成層細胞分裂增加，而分化則有減少現象，可以做為鑑定症狀之輔助證據，硼之測定有原子吸收光譜儀法、薑黃法(Diblo,et al 1954)、亞胺甲基（Azomethine-H）法（Lohes, 1982）等，都比較複雜費時，所用器皿亦需用塑膠而不可用玻璃製品，以減少污染，需特殊處理，不在此討論。

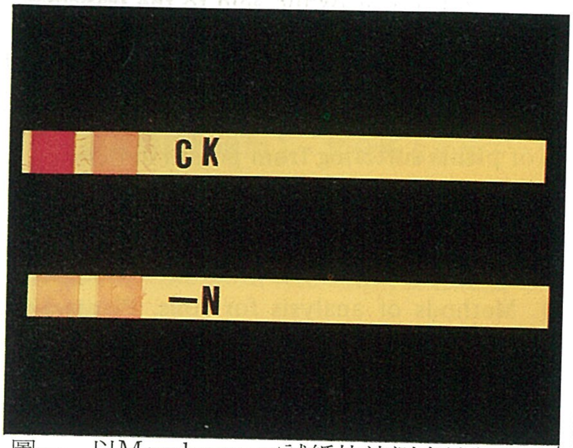
結　　論

快速組織測試常用於測定作物之輕微養分缺乏或者辨別由病蟲害與營養缺乏引起之類似症狀及用於田間之初步測試。其所使用的方法甚為簡單，但測試樣品之選擇與測試結果之評估則相當複雜。因為影響作物生長的因素衆多，外在因素可影響植株體內養分之利用，單一的測試結果可能有不同的原因，所以在評估時還要注意植株之一般生長狀況與活力，其他養分在植株內之濃度以及氣候狀況與一天內之測試時間等，方才有正確的結果。因此除了熟悉測試技術之外，還需要對作物本身及生理現象有所認識。

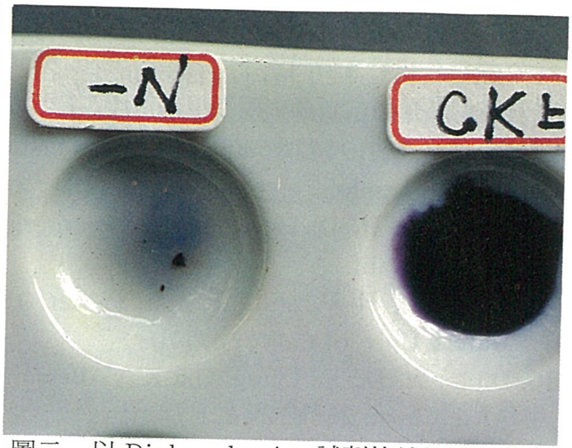
參考文獻

1. Bar-Akiva, A., and R. Lavon. 1969. Carbonic anhydrase activity as an indicator of zinc deficiency in citrus leaves. J. Hort. Sci. 44: 359–362.
2. Baxter, P. 1965. A simple and rapid test using the ninhydrin method for the determination of the nitrogen status of fruit trees. J. Hort. Sci. 40: 1–12.
3. Besford, R. T. 1980. A rapid tissue test for diagnosing phosphorus deficiency in tomato plants. Ann. Bot. 45: 225–227.
4. Bould, C. 1984. Methods of diagnosing nutrient disorders in plants. In Diagnosis of Mineral Disorders in plants. Vol. 1. Principles. J. B. D. Robison ed. Chemical Publishing, New York. pp. 112–114.

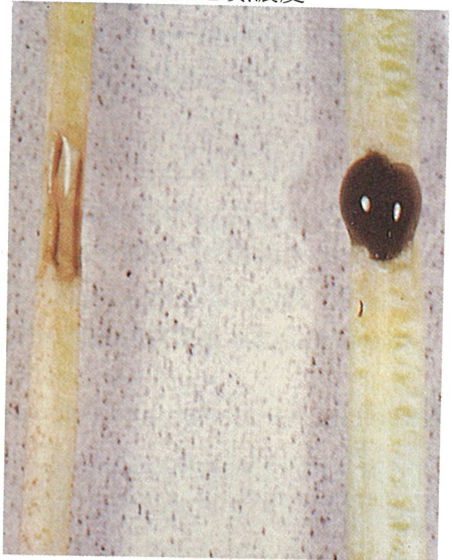
5. Brumagen, D. M., and A. J. Hiatt. 1966. The relationship of oxalic acid to the translocation and utilization of calcium in *Nicotiana tabacum*. Plant Soil 24: 239–249.
6. Burkhart, L. F. 1941. Potassium determination by the cobaltinitrate method as affected by temperature and pH. Plant Physiol. 16: 411–414.
7. Bussler, W. 1964. Comparative examinations of plants suffering from potash deficiency. Verlag Chemie.
8. Chapman, H. D. 1966. Diagnostic criteria for plants and soil. Riverside Div. Agric. Sci., Univ. of Calif.
9. Chapman, H. D., and F. Prat. Parker. 1961. Methods of analysis for soils. Plants and Waters. Univ. of Calif. pp. 170.
10. Diblo, W. D., E. Truog, and K. C. Berger. 1954. Boron determination in soils and plants. Anal. Chem. 26: 418–421.
11. Gilbert, W. A., A. E. Ludwick, and D. G. Weotfall. 1983. Predicting in-season N requirements of sugar beets based on soil and petiole nitrate. Agron. J. 73: 1018–1022.
12. Hylton, L. O. Jr., A. Ulrich, and D. R. Cornelins. 1965. Comparison of nitrogen constituents as indicators of the nitrogen status of Italian ryegrass and relation of top to root growth. Crop Sci. 5: 21–22.
13. Islam, M. M., and F. N. Ponnamperuma. 1982. Soil and plant tests for available sulfur in wetland rice soils. Plant Soil 68: 97–113.
14. Jaworski, E. G. 1971. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. Biochem. Biophys. Res. Comm. 43: 1274–1279.
15. Krantz, B. A., W. L. Nelson, and L. F. Burkhart. 1948. Plant-tissue tests as a tool in agronomic research. In: Diagnostic techniques for soils and crops. Am. Patash Inst. Washington D. C. pp. 137–155.
16. Lohse, G. 1982. Microanalytical azomethine-H method for boron determination on plant tissue. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 13(2): 127–134.
17. Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. pp. 287–407.
18. Nicholas, D. J. D. 1948. The applications of rapid chemical tests to the diagnosis of mineral deficiencies in horticultural crops. I. Crops grown on a manurial trial. J. Hort. Sci. 24: 72–105.
19. Nicholas, D. J. D. 1957. An appraisal of the use of chemical tests for determining the mineral status of crops. In: Plant analysis and fertilizer problems. P. Prevot ed. I. H. R. O. Paris. pp. 119–139.
20. Oland, K. 1954. Nitrogenous constituents of apple maidens grown under different nitrogen treatments. Physiologia Pl. 7: 463–474.
21. Torrecillas, A., A. Leon. F. del Amor., and M. C. Martisez-Mompeam. 1985. A rapid chronometric assay of peroxidase activity in citrus leaf discs. Scientia Hortic. 26: 273–277.
22. Ulrich, A., and L. O. Jr. Hylton. 1968. Sulfur nutrition of Italian ryegrass measured by growth and mineral content. Plant Soil 29: 274–284.
23. Ulrich, A., M. A. E. Mostafa, and W. W. Allen. 1980. Strawberry deficiency symptoms. A Visual and Plant analysis guide to Fertilization. Agric Exp. Sta., Univ. of Calif.
24. Yoshiaki, S. 1978. Nutrient deficiencies of crops. Food and Fert. Tech. Center, Taiwan. pp. 10–12.



圖一 以Merckoquant試紙快速測定缺氮株及正常株之硝酸態氮濃度。

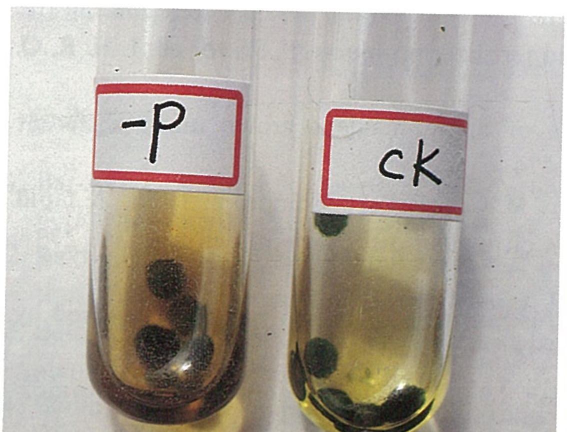


圖二 以 Diphenylamine 試劑快速測定缺氮株及正常株之硝酸態氮濃度。

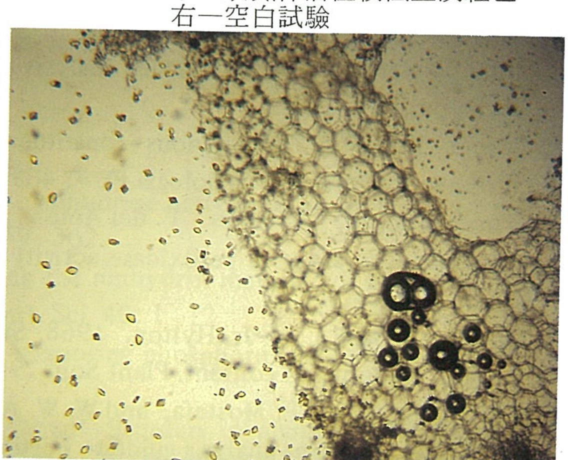


圖三 以 Diphenylamine 滴於缺氮草莓葉柄之切口，則呈負反應（無色）對照組則呈深藍色之正反應

圖四 硝酸鹽還原酶測定法：
左一正常株有較高之活性呈桃紅色
中一缺氮株活性較低呈淡紅色
右一空白試驗

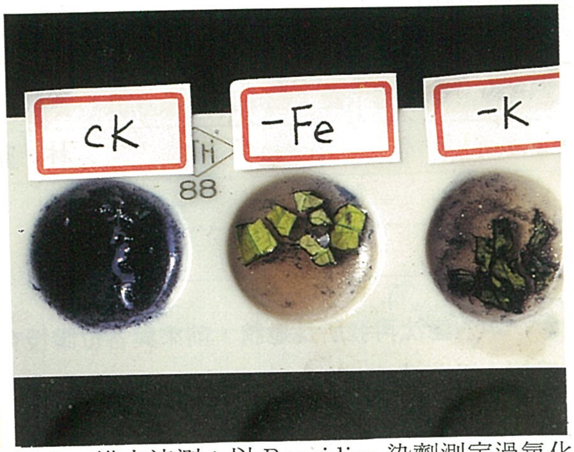


圖五 磷之速測法：
左:酸性磷酸酯酶於缺磷植株活性較高，呈深黃色
右:對照組酸性磷酸酯酶活性較低，呈淺黃色

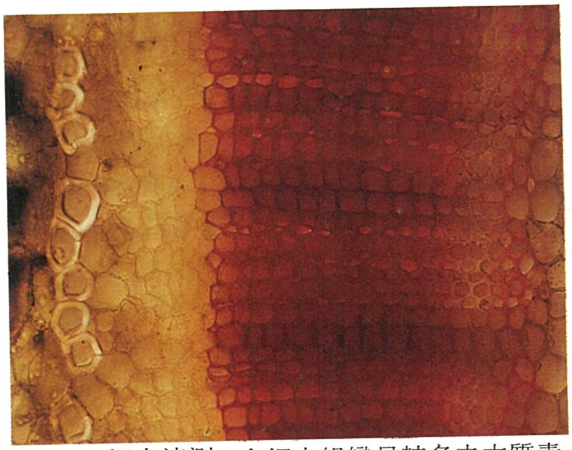


圖六 鈣之速測法：以 Picrolonic acid 染劑與鈣離子形成黃色菱形結晶之植物組織切片。

圖七　鉀之速測法：以 Dipicrylamine 染劑與鉀離子形成紅色結晶之植物組織切片。



圖八　鐵之速測：以 Benzidine 染劑測定過氧化物酶活性
右：對照組具較高之活性，呈深藍色，且出現藍色之反應時間較短（6 sec）
中：缺鐵株具較低之活性，呈淡藍色，且出現藍色之反應時間較長（45 sec）。
左：缺鉀株易引起缺鐵症，具較低活性，且出現藍色之反應時間較長（40 sec）



圖九　銅之速測：含銅之組織具較多之木質素與 phloroglucin 反應呈紅色。

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　82～85，1990

養液栽培作物病害及其防治

林　益　昇*

前　言

本人應沈再發所長邀請，前來與各位講授有關「養液栽培作物病害及其防治」的課程，內心感到十分慌恐與不安，因為本省的水耕栽培產業才剛起步，病害的問題很多，卻仍停留在「病害診斷」的階段，何有防治方法可言?!因此，今天擬提出本人最近在各地水耕農場觀察到的病害問題就敎於各位，並介紹一些國外的資料，以供參考。

水耕栽培產業的發展就是農業生產邁向技術與資本集約方向的典型例子，雖然目前仍受制於生產成本太高，無法與生產季節（on-season）的田間作物競爭，但一些非生產季節（off-season）的高經濟價值作物的水耕栽培，已在歐、美及日本等地區商業化。專家們認為水耕系統的好處很多，包括①高產，②不受季節影響，③集約栽培，④佔地少，⑤適宜土質不佳及缺水的地方，⑥容易控制水份及肥料，⑦適合機械化，以及⑧沒有病、蟲害發生或發生不嚴重。很不幸的，最後一點「沒有病、蟲害發生或發生不嚴重」卻是一廂情願的錯誤假設。各位都是水耕栽培的專家業者，相信大家都了解「病、蟲害是大問題」。水耕及土耕的生態系統大異其趣，各有各的微生物相。在水耕系統裡，由於門戶的開閉，人員及材料的進出，風吹塵土的污染都會帶入病、蟲。一旦引入病、蟲之後，因為沒有自然界的天然汰選，反而使病、蟲的增殖迅速，尤其一些水生病原菌，會隨養液的循環擴及所有的植物引起根部病害。病害的種類或許比土耕者少，但一定更嚴重！這是發展水耕栽培必須克服的一大障礙。

一、病害種類

1.營養失調

在循環式水耕系統裡，栽種植物一段時間後，常會使養液累積太多不必要的離子或毒質，或者缺乏某些重要元素，致使植物罹病。以番茄為例，太多的銨及鋅離子使植物發生生理病或中毒（zinc toxicity）；缺鉀會降低產品的酸度及品質；缺鈣易產生果頂腐敗病。本人曾在北投一處水耕農場發現嚴重的番茄果頂腐敗病。也曾在台大春陽農場發現一些茼蒿菜因養液 pH 值不對，或是缺鎂引起植株黃化，風味盡失。

2.葉部病害

水耕作物並無其特有的葉部病害，換句話說，其葉部病害的種類與該作物在田間土壤栽培所發生之病害種類相同，不在此處贅述。

3.根部病害

此類病害是水耕作物的一大特色，與田間土壤栽培的作物病害大異其趣。而且在水耕的環境裡，一旦引入根部病原菌，則病原菌將快速傳播並一致分佈，甚難防治。在美國有許多水耕農場因罹患此類病害而廢耕，非常嚴重。根據國外的報導，其重要根部病害種類如表一。

①根腐病：*Pythium* spp 在土壤中危害幼苗細根，植株長大脫離幼苗期之後，就會對大部

* 中興大學植物病理學系敎授

表一 已鑑定水耕蔬菜之病原菌

病原菌	番茄	胡瓜	萵苣	菠菜	康乃馨
Fungi					
Pythium aphanidermatum	+	+	−	+	−
P. debaryanum	+	+	−	−	−
P. dissotocum	−	−	+	+	−
P. irregulare	−	−	+	−	−
P. myriotylum	+	+	+	−	−
P. ultimum	+	+	−	−	−
Phytophthora cryptogea	+	−	−	−	−
Phy. nicotianae	+	−	−	−	−
Phy. parasitica	+	−	−	−	−
Olpidium brassicae	−	−	+	−	−
O. radicale	−	+	−	−	−
Fusarium oxysporum f. p. cucumerinum	−	+	−	−	−
F. oxy. f. sp. dianthi	−	−	−	−	+
F. oxy. f. sp. lycopersici	+	−	−	−	−
F. oxy. f. sp. radicis-lycopercisi	+	−	−	−	−
Verticillium dahliae	+	−	−	−	−
Phomopsis sclerotioides	−	+	−	−	−
Pyrenchaeta lycopersici	+	−	−	−	−
Colletortichum coccodes	+	−	−	−	−
Didymella lycopersici	+	−	−	−	−
Bacteria					
Erwinia carotovora	−	−	−	+	−
Pseudomonas solanacearum	+	−	−	−	−
Viruses					
Melon necrotic vein virus	−	+	−	−	−
Lettuce big vein virus	−	−	+	−	−

份的 *Pythium* spp 有抵抗性。因此，易被農友忽略其嚴重性。但在水耕系統裡，它們會危害成株，在根及莖部產生腐爛現象。對長時間生長的水耕作物，如胡瓜等，則更有害。在美國，*P. aphanidermatum* 及 *P. dissotocum* 嚴重危害菠菜，分別發生於高溫（28℃）及低溫（23℃）季節，如果一個水耕農場同時存在有此二種病原菌，則只能在水溫21℃時，菠菜才可生長，其產量卻只有對照植株的30%而已。就因為這兩個病原菌，使得美國許多農戶放棄菠菜，改植萵苣。然而，農友種植萵苣之後，卻一直抱怨，他們的水耕農場經過一段時間的栽培之後，需要愈來愈長的時間才能生產具市場價值的萵苣。原來是養液中存在有 *P. dissotocum*，這個病原菌是一種潛隱性病原菌（subclinical pathogen），也就是說，用肉眼看不到根腐病徵，卻使萵苣全面矮化，生長緩慢，難怪要生長具有市場價值的產品，須要耗費更長的時間，更多的人力及物力，導致血本無歸。

本省各地水耕農場的品質不一，新建者剛開始生產時，都見成功的例子，但是生產 1—2 年之後，只見一些作物，如萵苣、菠菜、小白菜、青江白菜、油菜、莧菜、空心菜、星辰花、鳳仙花、及洋香瓜等，皆已陸陸續續發生嚴重根腐病，尤其在夏天更見植株萎凋死亡，導致無收獲的情形（圖一、二）。一些農友趕緊更換養液，卻未見改善。或許也因而胡亂使用農藥，對農友本身及消費者皆未見其利，先蒙其害。根據初步分離鑑定，證實大都是由 *Pythium spp* 所引起。目前已獲得 8 個種類的 *Pythium* spp，正在進行鑑定及接種試驗中。可見本省水耕作物的病害相比國外者更具複雜性與挑戰性。

②疫病：國外報導由 *Phytophthora* spp 所引起（表一）。在本省，截至目前僅發現在苗期發生，農友育苗時，尤其莧菜及萵苣常會有猝倒現象，或者幼苗「不健」的情形，大都是由疫病菌（*Phytophthora* spp）所引起的。

③其他：本人亦曾在中部地區發現番茄細菌性青枯病（*Pseudomonas solanacearum*）及空心菜莖腐病（可能是 *Fusarium* spp 所引起）。

二、感染源的來源與傳播

感染源可能來自培養介質、砂、風吹塵土、昆蟲、種子、及人。引入感染源之後，病菌依靠可動性孢子或循環水或根部的接觸而傳播，難以去除。

三、防治方法

1.改良設備及培養技術

水耕作物病害的發生，與該水耕農場的培養方法、建築設備、及衛生管理息息相關。農友們的水耕農場各式各樣，或是設備不週，或是方法不對，徒增病害問題的困擾。例如有的水耕農場使用紗網的孔目太大，無法阻止小型昆蟲的進出；又有的水耕農場使用塑膠布覆蓋空心菜，以為在冬天保溫，殊不知因此造成濕度太高，使得一些腐生菌變成病原菌，引起莖腐病。有關新穎的，適合本省環境條件的水耕栽培技術的提升，有賴大家共同研究。

2.加強衛生管理及保持新鮮養液

設備內一定要保持乾淨，避免不必要的污染。譬如地上要舖碎石，避免風吹塵土的污染。禁止不必要的人員入內參觀，工作人員要以消毒水清洗手腳。另外，目前使用的養液大都是修正過的 Hoagland′s solution，但對各種作物而言，其養液真正的配方則常是商業秘密，市面上出售的儀器亦可測定養液的 pH 值及 EC 值。至於主要肥料的濃度則必須使用原子吸收光譜儀量取，

農友無法負擔。因此，最簡單的方法即是在經濟許可之下，常更換培養液，保持新鮮的培養液為避免病害的首要工作。

3.改良品種及選擇健康種苗

水耕作物品種的條件較嚴格，其種子必須有一致性，高的發芽率，生長快速而整齊，可供一次收穫，品質佳以及味道好。這樣高水準的要求，必須耗費更大的財力與物力才能育出好品種。由於目前栽培面積不大，種苗商的投資意願不高，應由政府單位計畫執行。

有許多病原菌，如番茄細菌性潰瘍病（*Corynebacterium micliganense*）即由種子傳播，選擇清潔種苗即可防止。

4.物理防治

在英國使用紫外線照射養液可降低細菌病原菌的數目，但48小時之後，細菌的數目又會恢復至原來的水準。在美國報導紫外線可殺死 *Pythium* 的游走孢子，但是會使鐵變成無法被植物吸收的型態（unavailable form），本方法仍有待研究改善。

5.藥劑防治

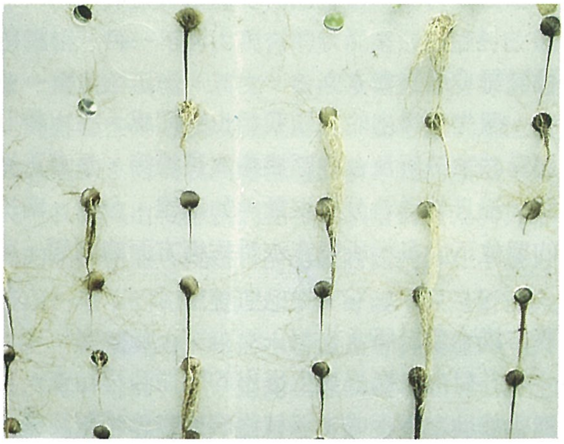
過去40年來，田間病、蟲害的防治，大都依靠農藥。在歐洲，有許多藥劑也已註冊在溫室裡使用，但在美國及本省則未有註冊藥劑。其原因不僅是因為在密閉的溫網室裡使用藥劑的效果與田間不同，對操作人員具危險性，更因為市場不大，藥商投資意願不高。其實，藥劑防治應該是有效、簡便的方法，只要在安全用藥的範圍內應該可行。舉例來說，在英國為了防治由 *Pythium* 及 *Phytophthora* 引起的根腐病，每個月在養液內施用一次的依得利（etidiazole）（20 mg／kg）或者依得利（20 mg／kg）加上 copper oxinete（5 mg／kg），具防治效果，另外，在美國亦報導利露滅（metalaxyl），在實驗室裡有效。使用展著劑 Agral—90（20 mg／kg）對萵苣巨脈病毒（big vein virus）有防治效果。

四、結　　語

發展水耕栽培產業是要集合大家的智慧，共同開創、共同努力。「水耕作物沒有病、蟲害的問題」是一錯誤的假設，目前的情形，我們必須趕緊鑑定病害，加強安全用藥的研究。

參考文獻（略）

圖一　水耕蔬菜發生嚴重根腐病



圖二　水耕萵苣根腐病病徵

養液栽培技術講習會專刊　第三輯　86～90，1990

綜　合　討　論

侯鳳舞（農委會）：

沈分所長、主任、教授們大家好。此次講習會已是第三屆，每次舉辦的重點均不同，希望大家利用此次聚在一起的機會，針對問題來提出討論，不斷突破，不斷改進，以精益求精。

鄭義雄（農林廳）：

很高興有此機會能與各位學者專家及實際栽培的農民有面對面接觸的機會。大家都知道，水耕栽培著重栽培技術，且是高科技、高投資成本的事業，所以，站在農林廳的立場，並不希望農民隨便投入，必須經過慎重的考慮。最近做了一些調查，水耕栽培業者有一部份成功的，但失敗的也不少。這種高科技的產業，技術是很重要的，農林廳希望農民不要盲目的投資，以避免成本無法回收，所以事前的評估應慎重考量，並且應多請教專家學者，聽聽多方面的意見。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

因時間有限，包括技術問題及建議，希望能在討論時間內提出，或另寫成書面，將會一併收集請專家們解答後，在專刊上一一刊出。請各位踴躍發言。

嚴春和（南投縣）：

感謝有關單位舉辦這次的講習會，我從前沒有從事農業的經驗，投入水耕栽培，雖然事前也研究過一段時間，但畢竟水耕是個很高科技的農業，希望有關單位可以有計畫的成立一些專責的附屬機構，來收集各方面的相關資料，讓農民可以知道當栽培發生問題時，可以到何處去找資料解決問題。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

目前於農委會計畫下有一國家級設施園藝之研究與技術開發計畫，由大學院校、試驗場所共同執行，包括資材開發、設施栽培技術、精密溫室及養液栽培等，該項執行之成果，當會印出刊物供參考。如果有特殊問題可轉寄有關單位，而成立一專責機構，並非簡易之事。

侯鳳舞（農委會）：

嚴先生提出的問題我們也有同感，在水耕栽培方面，國內可說是剛在起步階段，如鳳山熱帶園藝試驗分所及台中區農業改良場等，是真正從事水耕研究的單位，而這也只是近四、五年的時間，況且栽培者分佈很散，如高雄、台中、南投一直到新竹、苗栗都有，而目前從事這方面研究的單位不太多，所以在水耕病害方面的問題，可能需就近請教這些研究單位。

蕭吉雄（農試所）：

針對南投縣嚴先生提出的問題我再補充一點，現在農業試驗所植病系及應用動物系均在農林廳的補助之下，成立了植物病蟲害診斷服務中心，各位如果有這方面的問題歡迎大家把發生病害的作物樣品，寄送到農業試驗所植病系，他們會很樂意的為大家服務。有關土壤肥料施肥的問題

，農業試驗所農化系最近也新添了一部新儀器，就是為了給農友診斷土壤或是作物上到底缺乏何種元素，來做土壤分析或是植物體分析用，以幫助農友解決這方面的問題，歡迎各位農友多多參與。另外農林廳農民輔導科也有很多的資料，各位可以去函索取相關的資料，農林廳會很樂意提供給各位。

陳柏森（雲林縣）：

聽到農林廳鄭科長的談話感觸很深，因為去年我曾計畫與朋友從事水耕蔬菜栽培，而經過各方面的探詢、訪問與了解之後，發現農林廳並不很支持，今天鄭科長的一席話也的確印證了這個事實，但值得欣慰的是，在此已漸漸地成立了一個小團體，而將來在水耕蔬菜栽培方面的發展，這批率先投入的人即是水耕蔬菜栽培的先鋒隊。在今天的課程中，唯一遺憾的是篠原先生所針對的作物是番茄或草莓的維他命營養成分分析，他是否可告訴我們有關日本在水耕蔬菜發展的過程中，是否也和台灣一樣面臨了病菌無法克服的情形，或是水耕蔬菜風味較土耕蔬菜淡所產生的困難等等，他們如何克服才有今日的成就。另一方面請敎他在台灣溫度偏高的情況下，是否適合發展水耕栽培？

篠原　溫（日本千葉大學）：

在日本也有些農民懷疑水耕蔬菜與土耕蔬菜的營養成分是否有差異，但研究至目前為止，整體來說並沒有多大的差別。日本農民使用堆肥或有些土壤已受重金屬污染而不知道，所以採用高品質的化學原料來栽培，反而比土耕的品質還保險。日本水耕栽培的病害問題也常發生，防治的研究發展也慢些，因為全日本的設施栽培面積有四萬五千多公頃，其中水耕栽培只有四百多公頃，不到百分之一，所以在水耕方面的病害研究，在日本亦在起步階段，防治上尚屬落後狀況，與台灣的問題相同。日本的水耕業者在夏季大部份均休耕，而台灣因夏季蔬菜價格高，所以亦從事生產，但高溫多濕時病蟲害的問題亦嚴重，因此與農業工程人員來研究溫室構造以降溫、通風等便顯得非常重要，因此水耕栽培需整體性的考量，其發展潛力還是很大的。

鄔錫正（桃園縣政府）：

首先我要肯定鳳山熱帶園藝試驗分所這幾年來在養液栽培方面的貢獻與努力。現今在養液栽培方面應加強整合性的工作，這可分為三項來談：第一、在主管機關方面應整合，如目前在做水耕方面的研究人員應可在計畫中加以整合後再任務編組，每一年再由現有的狀況來提出檢討改進，如此許多農民失敗的慘痛敎訓必可減少，而不會一再重蹈覆轍。其次，養液栽培應給與適度的定位與評估，到底養液栽培有那些困難，目前發生的有那些，應加以標定出來，而不應只是總統、省主席看了一、兩處所謂的蔬菜工廠，就大力的來推動。因為我們發現有許多年輕的農民、農業的精英，花了很多的錢，卻得到了很慘痛的損失，我認為這就是我們在養液栽培的定位與評估方面做得不夠，應多加強。另外與南投縣嚴先生提的建議相似，就是目前應該將國內外在水耕方面已有的成就或是遇到問題後已有的解決方式，必須一項項的加以整理起來，好讓不只是新投入此行的農民能就過去已有的經驗或國外有的基礎之上，繼續努力，相信水耕還是會有突破的一天。第三點就是養液栽培所使用的介質，而其介質是沒有一定的，不一定是岩綿或是稻殼，也許土壤本身即是很好的介質，所以我們可以試著朝向有機農業方面結合，讓養液方面的知識和技術與土壤結合，或是其他的一些有機介質亦可，因為未來除了農藥會造成很大的生態污染以外，肥料

本身的污染也是很可觀的，所以我們希望養液栽培技術能不斷的創新與突破以後，能與有機農業土壤的介質方面相結合，以減少肥料的污染，以上三項是本人提出的一些看法與建議。

鄭義雄（農林廳）：

對於鄔先生所提的三點建議，第一點整合的問題，現在已有構想加強農民技術指導，因目前人力有限，只選北、中、南幾處試試看，若成效不錯，會更擴大舉辦。因為高德錚博士提出每個生長期的養液配方不同，而農民不會配養液，當然會失敗，所以我們將加強這方面的技術指導。第二點定位問題亦非常重要，目前農委會或農林廳對養液栽培這方面的技術並不能完全的解決，至目前為止有人說農林廳不很支持，其實若不支持就不會有此講習會了。政府的立場是著重在養液栽培技術的開發，我們並不是反對農民從事水耕栽培，而是怕農民技術不足，賺不到錢而已。目前評估方面，我們亦發現成功的少，失敗的多，目前正做調查，日後即有第三點的建議，提出成功例子的原因與失敗問題的關鍵等等，整合後編印一本手冊，以做為將來參考之用。其實成功與否有許多是經營管理上的問題，許多成功的例子均是業者虛心求教，再配合專業知識，努力試驗的成果，而依以往的土耕栽培管理方式經營，沒有突破者，一般都得到慘痛的失敗教訓，至於失敗原因是病蟲為害嚴重失敗，抑或養液不會配製失敗，有待調查後再整理出來才會清楚。而政府現在並沒有補助資金，因目前的技術尚未成熟，業者切勿冒然投入以免虧本。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

對於有機農業的問題，由於目前肥料配方尚有缺點，也許將來會添加一些有機物質、共生之根圈微生物，如菌根、光合菌等，只是目前的研究程度尚未進展到這個地步，不過這是一個必然的趨勢。所以仍有許多問題尚待解決。

鄔錫正（桃園縣政府）：

對於剛才提出的建議做個說明，目前有許多年輕有衝勁的農民一直想做水耕，而且幾乎已經投入了，而我們站在行政單位的立場，必須據實地將以往的失敗率告訴他們，或告訴他們有那些慘痛的經驗，若是如此農民尚不以為意，還願投資的話，我想將可減去不少的損失。至於有機農業方面，是想到我們是否能利用介質來培養一個很好的微生物態或平衡態，再加入養液來促成它，而不是純粹以養液為基礎。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

對於成功及失敗的統計數字及原因，我們亦覺得很重要，鄭科長提到已著手調查，再經檢討後，希有機會來告知其結果。

葉連桂（台南縣）：

有些水耕業者不斷在擴大經營面積，有些不斷在縮小面積，其中的差異即可見。除非是一直做賠錢的生意，或是不會經營，抑或不了解水耕栽培的技術才會失敗。像台南縣的楊清光先生，他的農場就不斷地在擴大。建議下次的講習會，除了許多學者專家以外，還應請些有實際經營的農民，不管是從悲觀的角度或是樂觀的角度，將它提出來談談，均是很具參考價值的。所以建議下次的講習會能增加一些實際有經驗的農民來談談。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

謝謝，我們會接受你的建議。

林豐喜（台中縣）：

各位先進大家好，我很認同桃園縣鄒先生的看法，水耕栽培是很需要統合的。實際上我也已召集了兩次，相信有人曾收到我的邀請函，一起來研究討論交換意見。先前投入水耕時，我也曾參觀過許多地方，如台南葉連桂先生、楊清光先生、鳳山熱帶園藝試驗分所及台中區農業改良場等地點。至目前為止，到底能不能經營，我認為只要能認真的去做是可以賺錢的，但如農林廳鄭科長所提經營不善收起來的也不少，這就看你是否能虛心求教，遇到問題是否會去請教專家，農民的問題若是找不到適當的諮詢管道來幫他們解決，這個責任該怪誰呢？就是政府在事前沒做好評估工作，輔導方法也不健全，像如此高科技、高技術的栽培管理，不是一個外行的投資者就可勝任的。而目前台灣既然有這麼多年輕的農民有興趣，政府應好好的輔導，找出一條可供農民諮詢的管道，而不是推卸說目前手頭上無資料，請到別處找找看的敷衍做法。台灣目前到那裡去找這批年輕有衝勁的農民，必須要好好的掌握，才能靠著他們來提升台灣的農業，所以利用這些學員的通訊錄，即可調查各個的經營面積有多少，投入的資金有多少，目前遭遇到的問題有那些，再由這批學員分北、中、南三區成立研究班，如此才真正對農民有所幫助。所以，我認為只要認真的去做，確實是可賺錢，我總共有三分多地，才投資了兩百三十多萬，設施材料也不比別人差，有機會歡迎來參觀。因此實際上只要自己親身經營、虛心求教都可以做。但是可悲的是桃園縣的問題，設施園藝的廠商到那裡大量推銷資材，結果農民錢沒賺到，卻投入了大筆的資金，肥了資材商卻苦了可憐的農民，所以本人非常反對這樣做，花了大筆的錢，卻沒做到最經濟的投資，當農民有問題不去請教專家、學者、教授，而去詢問資材商人，你說他們能不賠錢嗎？所以我們應有共識，若朋友詢問可不可以做，只要回答先做一下完整的市場調查後再來做還不遲，要不然就不要做，絕對不要再讓農民盲目的投入一些無法回收的血汗錢了。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

謝謝林先生提出的許多建議，在建議中我想栽培面積、投入資金的調查，農林廳鄭科長已著手在做這方面的調查，至於研究班本來去年曾想開始辦，但因舉辦各項的研討會而將其延誤了，也的確是因為去年的事情太多，不過會議後會將所有資料編輯成冊，所有學員的通訊錄均會附錄在內的。大家提出的許多整合性、整體性的觀念，不僅是栽培人員，其它如工程人員、資材、介質、灌溉系統的人員均需做整體的搭配才行。雖然我們已朝這方面在做，但問題還是有，所以大家仍需努力。今天提出的建議很多，關於評估方面的問題，農林廳鄭科長已在辦理，台南縣葉連桂先生提出邀請實際栽培農民發表經驗談，在下次會議中會安排，而台中縣林豐喜先生所提通訊錄，在會後編印的專刊中會寄發給各位。至於研究班的問題是很需要，若是由農民自己組織，將更能主動的研究問題，農委會、農林廳及研究試驗單位當會支持的。

鄭義雄（農林廳）：

剛才篠原先生說日本設施園藝有四萬五千多公頃，而水耕只有四百公頃，是否日本在水耕方面也遭遇到很大的問題？前景如何？請篠原先生說明。

篠原 溫（日本千葉大學）：

由於日本水耕栽培的經營型態多是小家庭夫婦兩人在做，所以均是小面積的管理方式，因此面積一直沒有增加，但因最近企業化的經營型態出現，面積增大，可能慢慢地面積會再擴增。除了經營型態之外，栽培技術也還要再突破。也許突破栽培的瓶頸後，面積還會增加。另外除了研究人員外，業者、生產推廣人員均得一起從事研究，相互交流，才能促成進步，這些都得慢慢來，並非一蹴可及的。

楊清光（台南縣）：

我在台南縣歸仁鄉目前從事的栽培面積是1.7公頃，從以往的經驗我想奉勸各位，水耕栽培不像我們想像的那麼簡單，問題牽涉很廣，不管是行銷的問題、技術的問題、產品的問題，也包含設施的問題，例如我搭建的設施均是親身參與，因為溫室是決定水耕成敗的一個因素，抗颱風、通風、降溫等等。其他有關技術上的問題，可以請教學者專家，而真正實際經營者需克服的問題是財力的問題，因為如無法達到相當面積，奉勸各位還是不要輕易嚐試，因為水耕是屬於高投資及著重經營理念的行業，並非一般農民可生產從事的行業，所以需花更多的時間與精神才行。

賴文乾（南投縣）：

我們一直強調農村青年的回鄉，但事實上農村青年回鄉後如何？是否有一個適合投資的方針，答案是沒有，大家都只是區域性的自己做，沒有做到全面性的整合。我們有農委會、農林廳、鄉鎮有農業課，甚至每個鄉鎮市均有農會，為何不利用此系統來做一個全面性的統計。根據今天來此講習的學員僅區區幾位，上次我參加了台中區農業改良場舉辦為期二週的訓練，有許多同學從事這方面栽培，也投入許多，大家有相當多的感觸，但今天卻都沒有出席這次的講習，所以要做所謂的整合，若不是全面性的話，我覺得均是浪費精神而已，因此建議能從一條正統的管道來做全面性的調查，如此可能有多種資料會更詳盡。

沈再發（鳳山熱帶園藝試驗分所）：

我想大家的感觸都很多，建議也很踴躍，是很好的。有些工作農民要走在研究單位之前，但一些基礎研究農民無法做得到，就得由政府來投資，並不是所有的事情均靠公家機關來做才行。因為專家也不是什麼都懂，他們也只是專精某方面而已，所以整合性的工作不是少數幾個人，而是群體的工作，因此這個產業要靠大家的努力才行的。